

ENGENHARIA: A MÁQUINA QUE CONSTRÓI O FUTURO

VOLUME XVII



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Frederico Celestino Barbosa

Engenharia: a máquina que constrói o futuro

17^a ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

17ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Frederico Celestino
B238E Engenharia: a máquina que constrói o futuro

/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2023

240 f.: il

DOI: 10.37423/2023.edcl839

ISBN: 978-65-5367-424-0

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. desenvolvimento 2. projeto 3. construção I. Barbosa, Frederico Celestino II. Título

CDU: 620

<https://doi.org/10.37423/2023.edcl839>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORIA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

MSc Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Wesley Pacheco Calixto

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Frederico Celestino Barbosa

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc. Plínio Ferreira Pires

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

MSc Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Gabriela Cristina Borborema Bozzo

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

MSc Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	6
CONTRIBUTION TO STUDIES ON POWER TRANSFORMER OUTAGE AND FAILURE: PARETO CHART AND EXPONENTIAL AND TWO-PARAMETER WEIBULL DISTRIBUTIONS	
Vinicius Faria Costa Mendanha	
André Pereira Marques	
Yuri Andrade Dias	
Cacilda de Jesus Ribeiro	
DOI 10.37423/231108405	
CAPÍTULO 2	26
APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS DA POLICLINICA DA CIDADE DE SÃO LUÍS DE MONTES BELOS- GO	
Jefferson Odílio Silva	
Paulo Júnior Mota	
Kátia Maria de Souza	
DOI 10.37423/231108424	
CAPÍTULO 3	44
ANÁLISE DA PARCERIA PÚBLICO PRIVADA VISANDO A MODERNIZAÇÃO DO PARQUE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DO MUNICÍPIO DE PALHOÇA/SC	
WILD FREITAS DA SILVA SANTOS	
DOI 10.37423/231108430	
CAPÍTULO 4	94
ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA ARGAMASSA POLIMÉRICA PARA SISTEMAS CONSTRUTIVOS	
Gleiskelen do Carmo de Souza	
Maria Eduarda Oliveira de Souza	
Kátia Maria de Souza	
DOI 10.37423/231108433	
CAPÍTULO 5	103
ANÁLISE DA REFORMA DO PRIMEIRO BATALHÃO DA PM NA CIDADE DE GOIÁS- GO	
Yan Henrique Pereira Adorno	
Kátia Maria de Souza	
DOI 10.37423/231108434	
CAPÍTULO 6	131
IDENTIFICAÇÕES E SOLUÇÕES RELACIONADAS AS TRINCAS E FISSURAS NAS EDIFICAÇÕES EM ALVENARIA NA CIDADE DE SÃO LUÍS DE MONTES BELOS- GO	
Matheus Viana de A. Silva	
Edivilson A. G. da Cruz	
Kátia Maria de Souza	
DOI 10.37423/231108437	

CAPÍTULO 7	152
MODELOS DE CURVA DE ESQUECIMENTO E SUA APLICAÇÃO NA PRODUÇÃO	
José Ângelo Ferreira	
Edson Luiz Valmorbida	
Bruno Pontes Fuentes	
Bruno Goulart Sato	
DOI 10.37423/231108443	
CAPÍTULO 8	163
AS REDES SOCIAIS NAS AULAS DE BIOQUÍMICA: UM INSTRUMENTO DE INTERAÇÃO E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA	
ROSANGELA VIDAL DE SOUZA ARAÚJO	
Paolla Rafaelly Barbosa de Oliveira	
DOI 10.37423/231108465	
CAPÍTULO 9	173
MODELAGEM DINÂMICA E SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE NÃO LINEAR DO ROBÔ MANIPULADOR SCARA RH-3FRHR35 COM FIXAÇÃO SUPERIOR, FABRICANTE MITSUBISHI	
Flávio Luiz Rossini	
Paulo Roberto Machado Silva Junior	
Carlos Vinicius Boduar de Alcantara	
DOI 10.37423/231208504	
CAPÍTULO 10	195
ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS EM TEMPO REAL APLICADO A UM SISTEMA EM TEMPO DISCRETO	
Walter Gabriel Lopes Pradela	
Matheus Eduardo dos Santos Maran	
Flávio Luiz Rossini	
DOI 10.37423/231208520	
CAPÍTULO 11	211
MODELAGEM DINÂMICA DE CIRCUITO ELÉTRICO PASSIVO NO DOMÍNIO DO TEMPO CONTÍNUO E ANÁLISE POR MEIO DOS SOFTWARES MATLAB® E MULTISIM®	
Nicholas Seifert	
Flávio Luiz Rossini	
DOI 10.37423/231208523	

Capítulo 1



10.37423/231108405

CONTRIBUTION TO STUDIES ON POWER TRANSFORMER OUTAGE AND FAILURE: PARETO CHART AND EXPONENTIAL AND TWO-PARAMETER WEIBULL DISTRIBUTIONS

Vinicius Faria Costa Mendanha

Universidade Federal de Goiás

André Pereira Marques

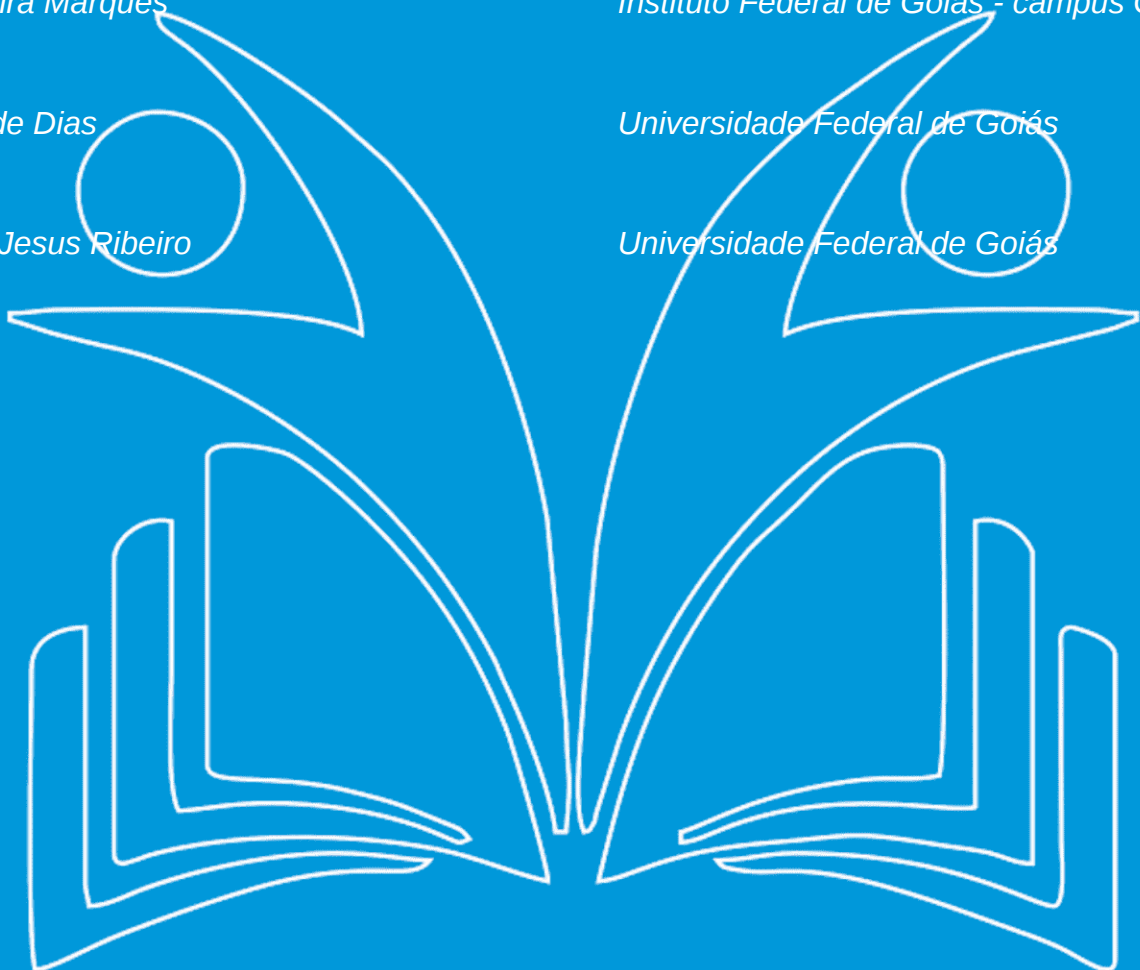
Instituto Federal de Goiás - campus Goiânia

Yuri Andrade Dias

Universidade Federal de Goiás

Cacilda de Jesus Ribeiro

Universidade Federal de Goiás



Abstract: The development of analytical tools for the assessment of power transformer reliability is aimed at improving the performance of power systems. This article contributes to the body of knowledge about power transformer outages resulting from defects or failures, highlighting the essential components for decision making. These include the application of the Pareto Diagram (in Phase I); mathematical modeling using reliability functions for different voltage classes; proposal of preventive maintenance schedules based on statistical data from real case studies at a Brazilian company operating in the national power grid; and the application of numerical programming (in Phase II). The originality of this article lies in combining the analysis of the two phases as a complete tool that can be widely applied in power supply companies to support maintenance strategies. In Phase I, the main causes of outages were determined for two time periods, indicating which components should be prioritized. In addition, in Phase II, exponential and two-parameter Weibull distributions pertaining to failures of power transformers with nominal voltages of 34.5 kV, 69 kV and 138 kV. The approach used in Phase II was the least squares method, calculating the Pearson correlation coefficient, and computationally, the l_2 vector norm, and determining the numerical error. The results were satisfactory, leading us to conclude that the tools complement each other and provide efficient support in decision making.

Keywords – failures, maintenance, outages, Pareto chart, power transformer, Weibull

1 INTRODUCTION

Power transformers are strategic assets for the electrical power systems. Hence, it is desirable to ensure their satisfactory service life and reliability by means of effective preventive maintenance [1, 2, 3]. Therefore, any possible defects they may present should be analyzed continuously to preclude failures, damage and unplanned events in electric power supply, and financial losses to electric utility companies and consumers.

To this end, several researchers have developed analyses tools that maintenance teams can use in their work on power transformers [1-25]. In this study, were employed statistical analysis (exponential and Weibull distributions) and the Pareto chart, which is a simple tool used in numerous fields. The most significant causes, which are identified from the stratification of outages vs. components, are highlighted quantitatively in descending order on the Pareto chart [20]. The idea is to focus on any causes that lead to an increase in outages, and on the few causes that trigger numerous outages, aiming to eliminate them [21].

- a) Failure: Refers to any anomaly in a power transformer that forcibly causes it to stop working, i.e., removes it from service, for example, breakdown of the dielectric strength of non-regenerative insulation, and breakdown of an essential component.
- b) Defect: An anomaly in a power transformer that can cause it to work irregularly or below its nominal capacity and that, if not corrected in time through maintenance, can evolve and cause the equipment to fail and be removed from service, such as: overheating, excessive vibration and incipient discharges.
- c) Outage: This is defined as shutdown of power transformers, i.e., their removal from operation due to a defect (which would eventually lead to failure) or to failure.

Thus, the development of tools for and analysis of power transformer reliability is justified, since the idea is to improve the performance of the electrical system. The purpose of this article is to contribute to the body of knowledge about outages in these devices, based on studies of real experiences of Brazilian cases, as described below.

- Phase I: Analysis of the main causes of power transformer outages during two periods (Period I, from 1979 to March 2015, and Period II, from 1979 to October 2017), in order to identify the components that should be prioritized in the action strategies of maintenance teams; and
- Phase II: Exponential and two-parameter Weibull statistical

- analysis of failures of power transformers, with nominal voltages of 34.5 kV, 69 kV, 138 kV, and grand total (sum of events in these transformer classes) in the period of 1981 to 2017, using numerical programming (least squares method) to create a mathematical model of each transformer class using reliability equations. In this context, this study also aimed to determine the appropriate maintenance intervals to achieve reliability levels of 50%, 75%, 80% and 90% and the average failure rates of each distribution.

2 METHOD

The method employed in this study (divided into the two above-mentioned phases) used statistical data of real case studies from a local electric power utility company, excluding the occurrence of possible human failures and those of the protection and control system.

Considering a number of observations per year equal to $N(y_i)$, the total number of events N is calculated according to Eq. (1), where $i = 1$ corresponds to the first year of observation and k to the last. The relative frequency of an event y_i is $f(y_i)$, given by Eq. (2), while the cumulative relative frequency, $F(y_i)$, is given, by recurrence, in Eq. (3) [22].

$$N = \sum_{i=1}^k N(y_i) \quad (1)$$

$$f(y_i) = \frac{N(y_i)}{N} \quad (2)$$

$$F(y_i) = \begin{cases} f(y_i), & \text{if } i = 1 \\ f(y_i) + F(y_{i-1}), & \text{if } i \neq 1 \end{cases} \quad (3)$$

2.1 PHASE I

In Phase I, the Pareto chart is used to study outages in power transformers with nominal voltages of 34.5 kV, 69 kV and 138 kV in two periods: the first from 1979 to March 2015 and the second from 1979 to October 2017. The components of the transformers under study are presented on the horizontal axis of the chart (winding, tap changer, bushings, unidentified component, tank, insulating system, core, cooling system, and bushing current transformer (BCT)), in descending order of contribution to the total number of events.

The absolute frequencies of outage events are presented on the left vertical axis, while the cumulative relative frequencies appear on the right vertical axis. The trendline, in turn, marks the cumulative relative frequency of the components [20-21].

2.2 PHASE II

In Phase II, the unreliability function $F(t)$ is defined as the probability of failure rate over time, also known as the failure rate curve [7-19]. Similarly, reliability $R(t)$ is the function that represents the probability that a component or a system will function properly for a given period of time, under specified operating conditions, and is defined as the probability of survival over time, whose property is described by Eq. (4) [7-19].

$$F(t) + R(t) = 1 \quad (4)$$

Reliability is determined by using the two-parameter Weibull distribution, which is a statistical tool widely used in maintenance engineering because it is adjustable to different cases and has no specific characteristic shape. The reason for this is that, depending on the values of its parameters, this distribution can represent several types of behavior, namely, increasing, decreasing or constant failure rates. Moreover, it is suitable for graphical analysis and offers more resources than other distributions, such as gamma and lognormal, to adjust to most times until component failure occurs [15]. For the two-parameter Weibull distribution, the mathematical expressions for unreliability and reliability are given, in that order, in Eqs. (5) and (6) [7-19].

$$F(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right], t \geq 0 \quad (5)$$

$$R(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\alpha} \right)^\beta \right], t \geq 0 \quad (6)$$

where α and β are scale and shape parameters, respectively. Furthermore, the instantaneous failure rate $\lambda(t)$ in Eq. (7) is the ratio of the number of failed components to that of components surviving until instant t [7-19]. This is a conditional probability, i.e., it determines the likelihood of a component to fail, given that it has not yet failed at a desired instant in time.

$$\lambda(t) = - \frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt} \quad (7)$$

The two-parameter Weibull distribution is expressed in (8) [7-19].

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{t}{\alpha} \right)^{\beta-1}, t \geq 0 \quad (8)$$

According to the exponential distribution, reliability is expressed in (9) [15]. The model has a constant failure rate, λ , and the average failure rate is given by $\bar{\lambda}$ in (10) [15].

$$R(t) = \exp(-\lambda t), t \geq 0 \quad (9)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \lambda(t) dt \quad (10)$$

For the exponential distribution, $\bar{\lambda} = \lambda$, while for the Weibull distribution, $\bar{\lambda}$ is given by Eq. (8).

The failure statistics involved in Phase II was developed and performed computationally here by numerical programming.

The least squares method [16] was used to determine α and β of the distribution.

In this work, Eq. (5) led to the development of Eq. (11), which can be expressed as Eq. (12),

$$\ln(-\ln(1 - F(t))) = \beta \ln(t) + \beta \ln\left(\frac{1}{\alpha}\right) \quad (11)$$

$$y = \eta_1 x + \eta_2 \quad (12)$$

where:

- $x = \ln(t)$;
- $y = \ln(-\ln(1 - F(t)))$;
- $\eta_1 = \beta$;
- $\eta_2 = \beta \ln\left(\frac{1}{\alpha}\right)$.

Thus, $F(y_i)$ are the points that fit $F(t)$, which is determined from the set of observations by means of the numerical least squares method. To this end, η_1 and η_2 are calculated using Eq. (13) [23].

$$\begin{cases} \eta_1 \sum_{i=1}^k x_i^2 + \eta_2 \sum_{i=1}^k x_i = \sum_{i=1}^k x_i y_i \\ \eta_1 \sum_{i=1}^k x_i + \eta_2 k = \sum_{i=1}^k y_i \end{cases} \quad (13)$$

Likewise, Eq. (9) is developed into Eq. (14), which can be written as Eq. (15).

$$-\ln(1 - F(t)) = \lambda t \quad (14)$$

$$y = \eta_1 x + \eta_2 \quad (15)$$

where:

- $x = t$;
-
- $y = \ln(1/(1 - F(t)))$;
- $\eta_1 = \lambda$.

In order to measure the quality of the fit of points to the regression line, the Pearson correlation coefficient (r) is used for the sample, in Eq. (16) [24].

$$r = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y})^2}} \quad (16)$$

where:

$$\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i \quad (17)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k y_i \quad (18)$$

As described by Santos (1996), the criteria for the Pearson correlation (r) adopted here were as follows:

- $0.9 < r \leq 1$: excellent correlation;
- $0.8 < r \leq 0.9$: good correlation;
- $0.6 < r \leq 0.8$: acceptable correlation;
- $r \leq 0.6$: weak correlation (unacceptable).

Another indicator used here to assess the accuracy of the method is the l_2 vector norm, whose numerical error, $\|E\|_2$, is given in Eq. (19) [25].

$$\|E\|_2 = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^k (v_t - v_a)^2}}{k} \quad (19)$$

where v_t is the theoretical (observational) value, and v_a is the approximate (analytical) value. Also, they are, respectively, the cumulative relative frequency for a given y_i , and the value determined by the distributions for y_i , with k equal to the number of points. This norm is convenient because it calculates the difference between the theoretical point and the one determined numerically, summing, point by point, the values that were previously quadratic, thus ensuring deviations that are always positive. Finally, apply the square root to the calculated total and divide the result by the number of points used to find the average of the error.

3 RESULTS

3.1 PHASE I

During Period I, outages caused by winding faults alone represented 44.05% of the total (211 events out of 479). Problems in windings, tap changers and bushings corresponded to 74.53% (approximately 70%) of the causes of outages, indicating that, in the dataset, three (33.33%) of the nine causes of power transformer outages represent slightly more than 70% of the recorded total.

In addition, during Period II, problems originating in windings, tap changers and bushings correspond to 75.14% of the total causes of power transformer outages. Fig. 1 and 2 contain Pareto charts of the outage events that occurred in Periods I and II, respectively.

In the two periods, the power transformer components that make the highest percentage contributions to outage events are windings, tap changers and bushings. The Pareto 70/30 ratio, calculated from the two periods under study, reveals the need for extensive maintenance of these components, which would have prevented failures and reduced these events by about seventy percent (70%).

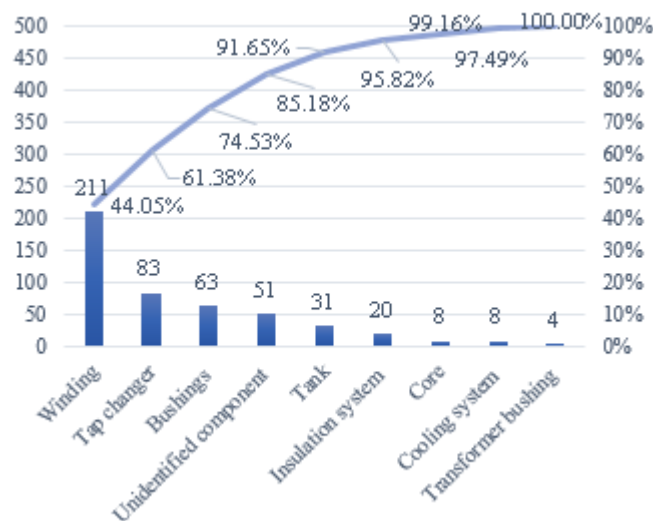


Fig. 1. Pareto chart of power transformer outages from 1979 to March 2015 (Period I).

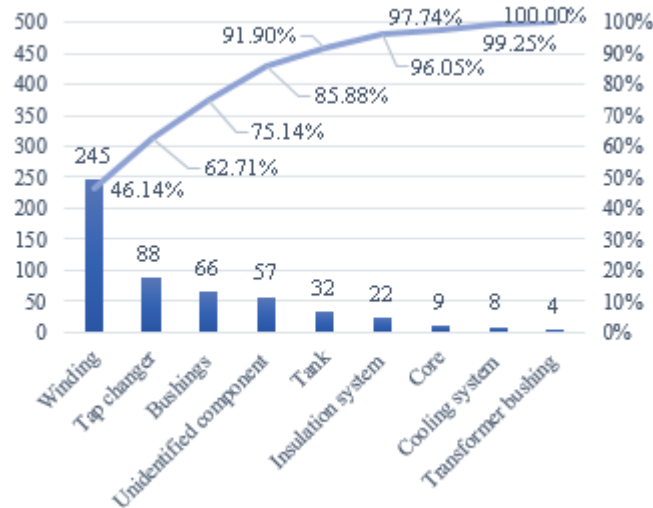


Fig. 2. Pareto chart of power transformer outages from 1979 to October 2017 (Period II).

3.2 PHASE II

The first and last years of observation are considered to be in the following order: 1981 ($i = 1$) and 2017 ($i = 37$). Figure 3 depicts the variation in the absolute frequency of faults $N(y_i)$ occurring in the three classes of transformers over time i .

The numbers of failures observed for class 34.5 kV, 69 kV and 138 kV transformers are 142, 80 and 33, respectively, making a total of 255 failures.

Using the linearizations proposed in Eqs. (14) and (17), the adjustment lines are determined for the classes of power transformers with nominal voltages of 34.5 kV, 69 kV and 138 kV, in the period of 1981 to 2017, for the Weibull (Figs. 4 to 7) and exponential (Figs. 8 to 11) distributions, confirming how well the regression line best fits the points in the data set.

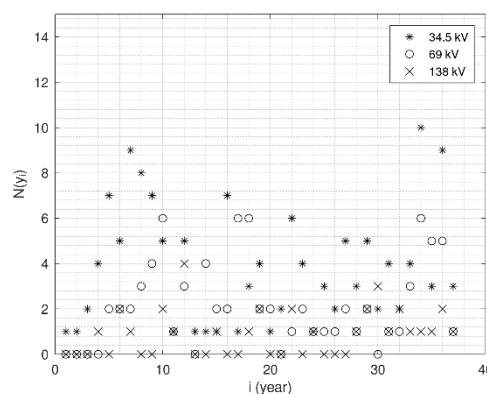


Fig. 3. Total number of failures observed for each transformer class in the sampling period.

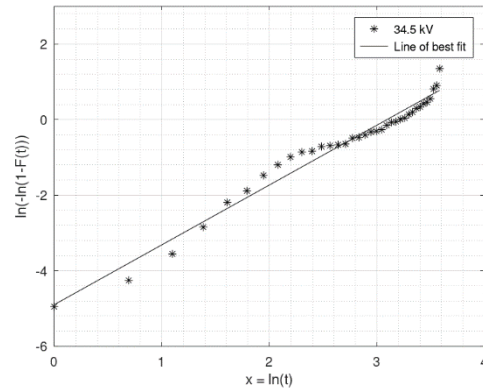


Fig. 4. Variation of linearized cumulative points of relative frequency and the line of best fit obtained by the least squares method for Weibull distribution, for power transformers with nominal voltage of 34.5 kV, from 1981 to 2017.

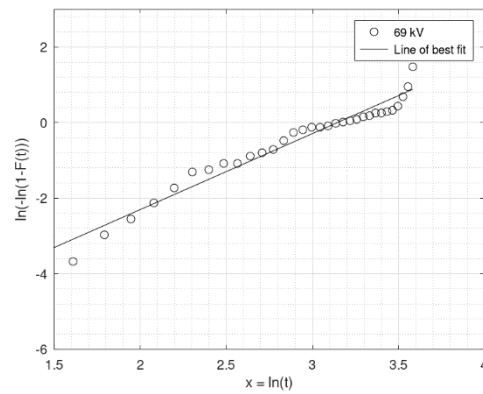


Fig. 5. Variation of linearized cumulative points of relative frequency and the line of best fit obtained by the least squares method for Weibull distribution, for power transformers with nominal voltage of 69 kV, from 1981 to 2017.

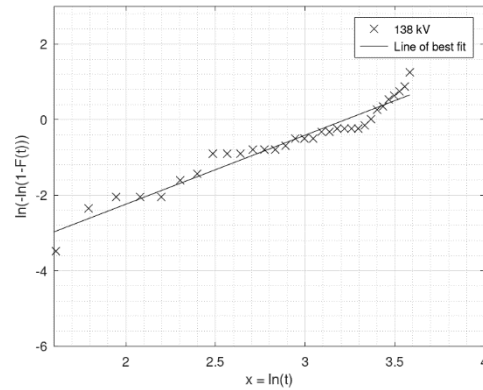


Fig. 6. Variation of linearized cumulative points of relative frequency and the line of best fit obtained by the least squares method for Weibull distribution, for power transformers with nominal voltage of 138 kV, from 1981 to 2017.

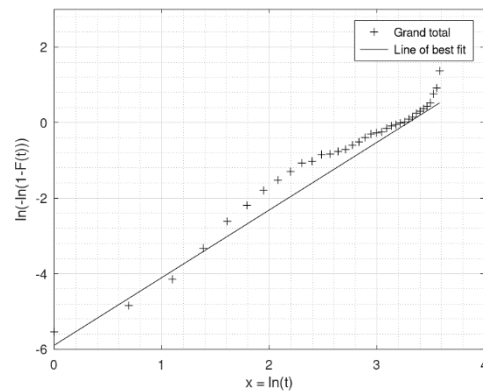


Fig. 7. Variation of linearized cumulative points of relative frequency and the line of best fit obtained by the least squares method for Weibull distribution, for the Grand total, from 1981 to 2017.

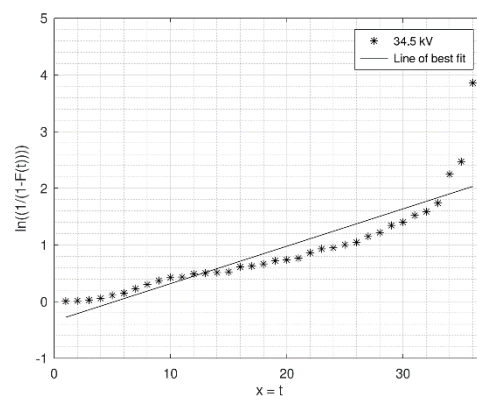


Fig. 8. Variation of linearized cumulative points of relative frequency and the line of best fit obtained by the least squares method for exponential distribution, for power transformers with nominal voltage of 34.5 kV, from 1981 to 2017.

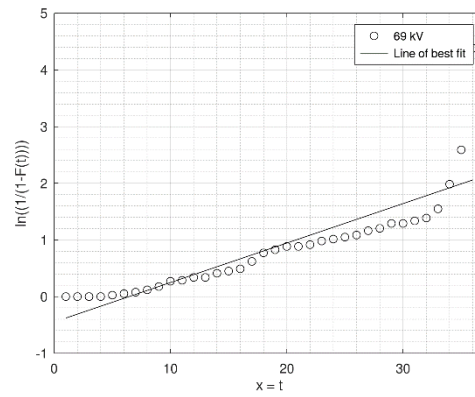


Fig. 9. Variation of linearized cumulative points of relative frequency and the line of best fit obtained by the least squares method for exponential distribution, for power transformers with nominal voltage of 69 kV, from 1981 to 2017.

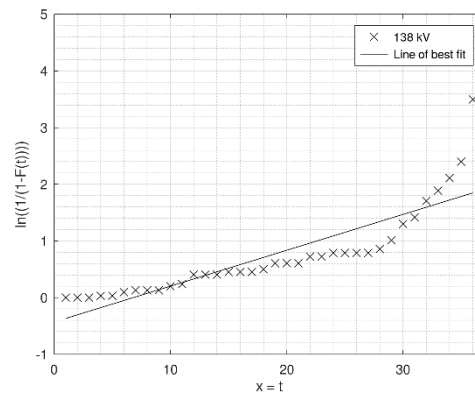


Fig. 10. Variation of linearized cumulative points of relative frequency and the line of best fit obtained by the least squares method for exponential distribution, for power transformers with nominal voltage of 138 kV, from 1981 to 2017.

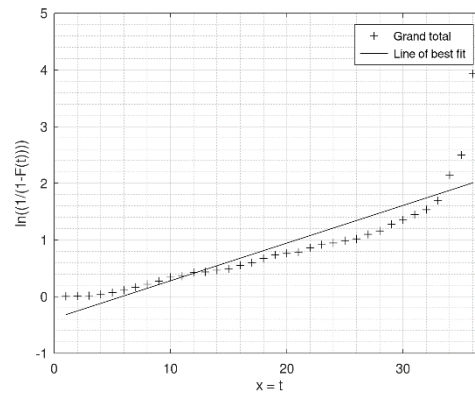


Fig. 11. Variation of linearized cumulative points of relative frequency and the line of best fit obtained by the least squares method for exponential distribution, for the Grand total, from 1981 to 2017.

In general, the maximum positive points are furthest from the lines of best fit, given the fact that the relative frequency accumulated at these points is very close to one.

From Eq. (11), in the process of linearization of the Weibull distribution, there are two logarithmic operations in the transformation into y , so that values close to unity generate results for $\ln(-\ln(1 - F(t)))$ that tend to $+\infty$, as well as in the best fit to the exponential distribution in Eq. (14). Tables 1 and 2 list the equations of the lines of best fit of each set of power transformers to Weibull and exponential distributions, respectively, obtained via the least squares method.

Table 1 Lines of best fit of the sample set considering Weibull distribution for each power transformer voltage class: 34.5 kV, 69 kV and 138 kV

Power transformer voltage class, in the period of 1981 to 2017	Line of best fit of the set to Weibull distribution
34.5 kV	$y = 1.584x - 4.900$
69 kV	$y = 2.011x - 6.324$
138 kV	$y = 1.827x - 5.894$
Grand total	$y = 1.791x - 5.594$

Table 2 Lines of best fit of the sample set considering exponential distribution for each power transformer voltage class: 34.5 kV, 69 kV and 138 kV

Power transformer voltage class, in the period of 1981 to 2017	Line of best fit of the set to Exponential distribution
34.5 kV	$y = 0.06599x - 0.3428$
69 kV	$y = 0.06965x - 0.4482$
138 kV	$y = 0.06330x - 0.4305$
Grand total	$y = 0.06648x - 0.3858$

In Table 3, note that all the lines of best fit have angular coefficients higher than one, implying, based on Eq. (12), that $\beta > 1$. This behavior is typical of power transformers that undergo wear during operation, requiring the adoption of systematic preventive maintenance in order to increase their reliability (successful maintenance should be sought, which does not introduce new defects into the transformer) [15]. In addition, the average failure rate in exponential distribution can be obtained from the equations in Table 3 of this work, since, from Eq. (10) and Eq. (15), $\eta_1 = \lambda = 1/\lambda$.

Table 3 lists Pearson's correlation coefficients, obtained by linear fitting, which are visually depicted in Fig. 4 to Fig. 11.

Table 3 Pearson's correlation coefficient between linearized sampling points and lines of best fit

Power transformer class	Pearson's correlation coefficient, r , for Weibull distribution	Pearson's correlation coefficient, r , for Exponential distribution
34.5 kV	0.985	0.879
69 kV	0.978	0.850
138 kV	0.976	0.866
Grand total	0.988	0.873

The Weibull distribution showed excellent correlation for all the transformer classes, while the exponential distribution showed good correlation. Table 4 lists the parameters η_1 , η_2 , α and β , algorithmically determined in this work for Weibull distribution.

Table 4 Parameters of Weibull statistics using the least squares method of this work

Power transformer voltage class	η_1	η_2	α	β
34.5 kV	1.584	-4.900	22.056	1.584
69 kV	2.011	-6.324	23.219	2.011
138 kV	1.827	-5.894	25.164	1.827
Grand total	1.791	-5.594	22.736	1.791

The power transformer class identified as "Grand total," corresponding to the sum of failures of power transformers with nominal voltages of 34.5 kV, 69 kV and 138 kV, in the period of 1981 to 2017, presents $\alpha=22,736$ and $\beta=1,791$. These results are close to the average value of α and β obtained for

the voltages of power transformers of 34.5 kV, 69 kV and 138 kV, namely: $\bar{\alpha}=23,480$ and $\bar{\beta}=1,807$ (which are average values of the parameters). This suggests that the mathematical relationships obtained for the “Grand Total” can reasonably describe the specific statistics for the transformer classes of 34.5 kV, 69 kV and 138 kV.

In view of these results, the reliability and failure rate functions for Weibull distribution are given in Table 5.

Table 5 Reliability function $R(t)$, and failure rate $\lambda(t)$ for Weibull distribution for $t \geq 0$

Voltage class	$R(t)$	$\lambda(t)$
34.5 kV	$\exp \left[- \left(\frac{t}{22.056} \right)^{1.584} \right]$	$0.072 \left(\frac{t}{22.056} \right)^{0.584}$
69 kV	$\exp \left[- \left(\frac{t}{23.219} \right)^{2.011} \right]$	$0.087 \left(\frac{t}{23.219} \right)^{1.011}$
138 kV	$\exp \left[- \left(\frac{t}{25.164} \right)^{1.827} \right]$	$0.073 \left(\frac{t}{25.164} \right)^{0.827}$
Grand total	$\exp \left[- \left(\frac{t}{22.736} \right)^{1.791} \right]$	$0.079 \left(\frac{t}{22.736} \right)^{0.791}$

Table 6 describes the numerical error ($||\bar{E}||_2$) obtained by the l_2 vector norm for each transformer class, in view of the best fits to Weibull and exponential distributions, considering the reliability functions described in Table 6.

Table 6 Application of the l_2 vector norm for each class of transformer under Weibull and exponential distributions

Nominal voltage of the power transformer	$ \bar{E} _2$ (Weibull)	$ \bar{E} _2$ (Exponential)
34.5 kV	0.9972%	2.2048%
69 kV	1.0021%	3.0257%
138 kV	1.0422%	3.2458%
Grand total	0.9364%	2.5392%

As can be seen, the Weibull distribution is highly accurate for the set of observations, with percentage numerical errors that do not exceed one percent (1%). However, the accuracy of the exponential distribution is lower than that of the Weibull distribution in the best fit of the set.

Table 7 describes maintenance intervals for reliability rates of 50%, 75%, 80% and 90% for each transformer class, similar to what is shown in Eq. (3), which has another reliability function for transformers. In addition, Table 8 lists the failure rates for each transformer class, considering the two distributions, during the period under observation.

Table 7 Maintenance intervals, in years, determined by Weibull and Exponential distributions

R(t)	Weibull distribution – maintenance intervals (in years)				Exponential			
	34.5 kV	69 kV	138 kV	Grand total	34.5 kV	69 kV	138 kV	Grand total
50%	17.5	19.3	20.6	18.5	10.5	9.9	10.9	10.4
75%	10.0	12.5	12.7	11.3	4.4	4.1	4.5	4.3
80%	8.6	11.0	11.1	9.8	3.4	3.2	3.5	3.4
90%	5.3	7.4	7.3	6.5	1.6	1.5	1.7	1.6

Table 8 Average failure rates of Weibull and Exponential distributions for each transformer class

Average failure rates in the period of 1981 to 2017		
Transformer voltages	Weibull	Exponential
34.5 kV	6.13%	6.60%
69 kV	6.90%	6.96%
138 kV	5.47%	6.33%
Grand total	6.46%	6.65%

The maintenance intervals determined to achieve reliability rates of 50%, 75%, 80% and 90% in each class of transformer in this study indicate that, if the failure statistics related to the “Grand total” class were adopted for maintenance actions involving these power transformer classes, all the transformers would be covered except the 34.5 kV class, since, according to the calculated reliability rates, the maintenance interval of this class is always higher than those calculated for the “Grand total.” It is also evident that, for the same reliability rate of the exponential distribution, the calculated maintenance interval is more than two-fold shorter than that determined by Weibull, although the average failure rates of both distributions for each class under study are very similar.

The following procedure was carried out to validate this method using two-parameter Weibull distribution:

- the first ten, fifteen, twenty, twenty-five, and thirty observation points (years) were used to determine parameters α and β of the distribution of each class under study; and
- the failure rate, T_f , during the years outside the selected interval were calculated using Eq. (20), where N_f is the number of failures during the period considered; $N_{e,i}$ is the number of events in each year i , and t is the number of years in the period in question [1]. For example, the failure rate was calculated for the first 15 years, while the remaining 22 were used for validation, for a total of 37 years.

$$T_f = \frac{N_f}{\sum_{i=1}^t N_{e,i}} \times 100\% \quad (20)$$

- the failure rate for the period to be validated, $T_{f_{theoretical}}$, was calculated here using Eq. (21), where t_1 is the first time instant of the interval to be validated. The real failure rates and that determined by Weibull distribution were compared using Eq. (22), where A is the model's success rate. The results are described in Table 9.

$$T_{f_{theoret.}} = \frac{\int_{t_1}^{37} \lambda(t) dt}{\int_0^{37} \lambda(t) dt} \times 100\% \quad (21)$$

$$A = 100\% - |T_f - T_{f_{theoretical}}| \quad (22)$$

Table 9 Validation of the parameters of Weibull distribution using the set of points of this study and the analysis of failure rates per period

Power transformer voltage class	Intervals of occurrence of initial failures for validation, in years														
	15			20			25			30			35		
	T_f	$T_{f_{theor.}}$	A	T_f	$T_{f_{theor.}}$	A	T_f	$T_{f_{theor.}}$	A	T_f	$T_{f_{theor.}}$	A	T_f	$T_{f_{theor.}}$	A
34.5 kV	59.16	80.20	78.96	47.89	64.24	83.65	36.62	46.46	90.18	24.65	27.82	96.83	8.45	8.32	99.87
69 kV	63.75	90.41	73.34	41.25	77.14	64.11	35.00	57.62	77.38	27.50	34.60	92.90	7.50	10.34	97.16
138 kV	63.54	85.82	77.72	54.54	69.26	85.28	45.45	50.30	95.15	27.27	29.97	97.30	9.09	9.45	99.64
Grand total	61.18	83.75	77.43	46.67	69.21	77.46	37.25	51.28	85.97	25.88	31.11	94.77	8.23	9.37	98.86

Although the failure rate determined by Weibull distribution ($T_{(f_{theoretical})}$) is a continuous function, while the real failure rate (T_f) is a random and discrete set, Table 9 shows that the validation of this method was satisfactory, with a correctness rate above 97.16% (for data covering a period of 35 years). In general, the application of this method over the years has revealed a higher correctness rate as a larger number of points are included in the analysis.

4 CONCLUSIONS

This paper makes an original contribution to studies on power transformer outages through the joint application of the Pareto chart and the exponential and two-parameter Weibull distributions in the two phases presented. Thus, it offers a complete tool with extensive applications for companies operating in the electricity sector, helping maintenance teams in establishing action strategies and in decision making.

The main causes of outages in Phase I indicate that the percentages depend on the periods of the analyzed data, but point to the same components that should be prioritized. On the other hand, the statistical analyses of power transformer failures obtained by exponential and two-parameter Weibull distributions (Phase II) indicate different reliability functions for each voltage class under study.

Based on the data collected in Phase I, it is advisable to prioritize maintenance protocols on windings, tap-changers and bushings, since the Pareto ratio obtained was close to 70/30; that is, in order to prevent the occurrence of more than 70% of power transformer outages in the analyzed case studies (according to experience of Brazil's real-life conditions).

In Phase II, the Weibull distribution showed a strong correlation for all the nominal voltages of power transformers, while exponential distribution showed a good correlation. Although the two statistical distributions generate a similar average failure rate for each studied nominal voltage of transformers, the maintenance intervals – given the same reliability rate – are very different, thus prioritizing the Weibull distribution, given its more accurate fit to the dataset.

Therefore, in view of the results and validation of this method, it is concluded that the analyses of the two phases complement each other and offer their contributions, aiming at efficient actions to reduce outages (including failures) of power transformers, which are strategic to ensure the stable supply of electricity.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors gratefully acknowledge the support provided by the High Voltage Research Laboratory (LAPEAT/UFG) of School of Electrical, Mechanical and Computer Engineering of the Federal University of Goiás (UFG) and the Federal Institute of Goiás (IFG).

REFERENCE

1. Marques, A. P., Ribeiro, C. de J., Azevedo, C. H. B., Santos, J. A. L. dos, Carvalho, F. R. de, & Brito, L. da C. (2014) Power transformer disruptions- a case study. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 30(2), 17-21. <https://doi.org/10.1109/MEI.2014.6749569>.
2. Sousa, F. R. de C., Ribeiro, C. de J., Marques, A. P., & Brito, L. da C. (2020) Method for Rating and Analyzing the Combined Effects of Moisture and Temperature on the Oil–Paper Insulation System of Power Transformers by Means of Load Variations. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 31(5), 1309–1321. <https://doi.org/10.1007/s40313-020-00607-7>
3. Palhares, P. H. da S., Ribeiro, C. de J., Brito, L. da C., Marques, A. P., Azevedo, C. H. B., & dos Santos, J. A. L. (2018) Bayesian Network and Compact Genetic Algorithm Approach for Classifying Partial Discharges in Power Transformers. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 29(5), 605–613. <https://doi.org/10.1007/s40313-018-0399-2>
4. Dehghani, H., Vahidi, B. (2022) Transformers loss of life management in smart distribution networks using a new hybrid method based on optimal demand response programs and cost–benefit analysis. *Electr Eng* 104, 1951–1966. <https://doi.org/10.1007/s00202-021-01451-x>
5. Adnane, T., Moulai, H. & Terebes, R. (2022) Analysis of DC low energy discharges emitted light for transformer oil state assessment. *Electr Eng* 104, 4019–4029. <https://doi.org/10.1007/s00202-022-01606-4>
6. Shutenko, O., Kulyk, O. (2022) Recognition of low-temperature overheating in power transformers by dissolved gas analysis. *Electr Eng* 104, 2109–2121. <https://doi.org/10.1007/s00202-021-01465-5>
7. Almalki, S. J., & Yuan, J. (2013) A new modified Weibull distribution. *Reliability Engineering & System Safety*, 111, 164–170. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2012.10.018>
8. Barabadi, A. (2013) Reliability model selection and validation using Weibull probability plot—A case study. *Electric Power Systems Research*, 101, 96–101. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2013.03.010>
9. Barbosa, J. P. (2008) Reliability and equipment modeling by combinations or extensions of Weibull distributions (Federal University of Espírito Santo, Ed.) (Dissertation Reliability and equipment modeling by combinations or extensions of Weibull distributions).
10. El-Bassiouny, A. A., EL-Shimy, M., & Hamouda, R. (2019) Probabilistic Analysis of the Reliability Performance for Power Transformers in Egypt. *Renewable Energy and Sustainable Development*, 5(2), 46. <https://doi.org/10.21622/resd.2019.05.2.046>
11. Huang, W., Shao, C., Dong, M., Hu, B., Zhang, W., Sun, Y., Xie, K., & Li, W. (2022). Modeling the Aging-dependent Reliability of Transformers Considering the Individualized Aging Threshold and Lifetime. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1–1. <https://doi.org/10.1109/tpwrd.2022.3152745>.
12. Jiang, R.; Xie, M.; Murthy, D. N. P. (2004) *Weibull Models*. John Wiley & Sons.
13. Madavan, R., & Balaraman, S. (2016) Failure analysis of transformer liquid — solid insulation system under selective environmental conditions using Weibull statistics method. *Engineering Failure Analysis*, 65, 26–38. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2016.03.017>.

14. Raposo, J. L. de O. (2004) Reliability centered maintenance applied to systems electrical: a proposal for the use of risk analysis in decision diagram (Federal University of Bahia, Ed.) [Dissertation Reliability centered maintenance applied to systems electrical: a proposal for the use of risk analysis in decision diagram].
15. Santos, I. S. dos (1996) Methodology for optimizing the maintenance of equipment and systems (State University of Campinas, Ed.) [Dissertation Methodology for optimizing the maintenance of equipment and systems].
16. Suwanasri, T., Phadungthin, R., & Suwanasri, C. (2013) Risk-based maintenance for asset management of power transformer: practical experience in Thailand. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 24(8), 1103–1119. <https://doi.org/10.1002/etep.1764>
17. Trappey, C. V., Trappey, A. J. C., Ma, L., & Tsao, W.-T. (2014) Data driven modeling for power transformer lifespan evaluation. *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 23(1), 80–93. <https://doi.org/10.1007/s11518-014-5227-z>.
18. Xie, P. (2019) Analysis of fault of insulation aging of oiled paper of a large-scale power transformer and the prediction of its service life. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 14(8), 1139–1144. <https://doi.org/10.1002/tee.22911>
19. Yang, H., Zhang, Z., & Yin, X. (2018) A novel method of decision-making for power transformer maintenance based on failure-probability-analysis. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, 13(5), 689–695. <https://doi.org/10.1002/tee.22618>
20. Mariani, C.A. (2005) PDCA method and quality tools in industrial process management: a case study. *Management and Innovation Journal*, 2(2), 110-126.
21. Maiczuk, J., & Júnior, P. P. A. (2013) Application of tools to improve quality and productivity in process products: a case study. *Qualit@S Eletronic Journal*, 14(1), 1–14.
22. Vuolo, J. H. (1996) Fundamentals of Errors Theory. E. Blucher.
23. Ruggiero, M.A.G.; Lopes, V. L. da R (2000) Numerical calculus: theoretical and computational aspects. 2. Ed. Pearson Makron Books, São Paulo.
24. Morettini, P. A.; Bussab, W.O. (2010) Basic Statistics. 6. Ed., Saraiva, São Paulo, 540 p
25. Martins, M. A., Marchi, . H., Pinto, M. A. V., Araki, L. K., Gonçalves, S. F. T., Grossi, L., & Guardia, G. G. La (2013) Effect of the type of norm on the order of error accuracy of numerical solutions in CFD. *Proceedings of the Congress of Applied and Computational Mathematics*, 9–103.

Capítulo 2



10.37423/231108424

APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS DA POLICLINICA DA CIDADE DE SÃO LUÍS DE MONTES BELOS- GO

Jefferson Odílio Silva

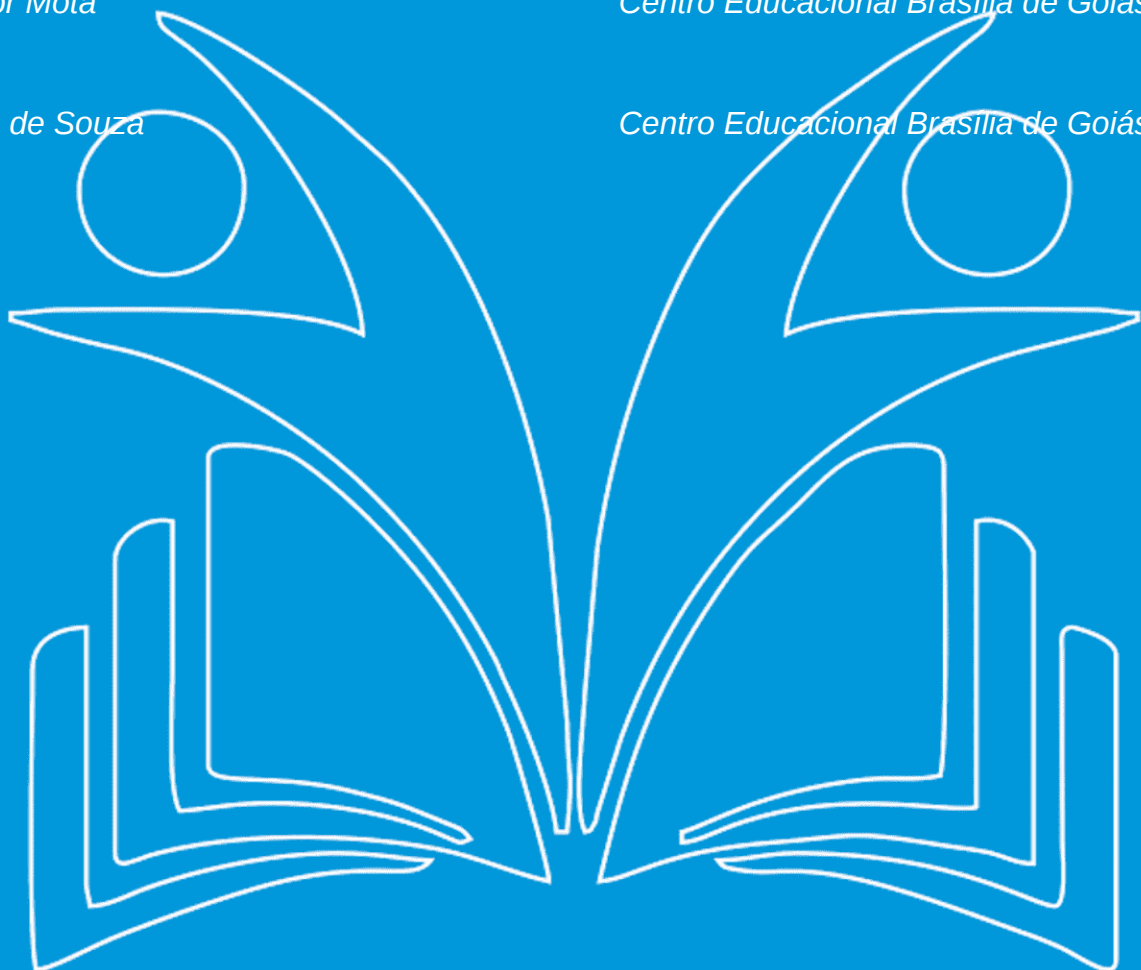
Centro Educacional Brasília de Goiás

Paulo Júnior Mota

Centro Educacional Brasília de Goiás

Kátia Maria de Souza

Centro Educacional Brasília de Goiás



Resumo: Este estudo se propôs a realizar uma avaliação abrangente dos resultados resultantes da implementação de cisternas para captação e utilização de água pluvial na Policlínica Estadual Ismael Alenxandrino Pinto, situada no município de São Luís de Montes Belos, GO. A pesquisa desenvolveu uma abordagem exploratória e descritiva, combinando métodos qualitativos e quantitativos para oferecer uma análise completa. Os resultados, resultados do monitoramento do consumo destinados à limpeza e rega de jardins, evidenciam de maneira consistente a eficácia do sistema de captação de águas pluviais. A redução substancial no consumo de água tratada, causada pela empresa de Água e Esgoto, atingindo até 14,3%, destaca não apenas a estratégia técnica do sistema, mas também seus benefícios tangíveis em termos de conservação de recursos hídricos e economia financeira. Além desses aspectos quantitativos, observou-se que o estudo desempenha um papel crucial ao estimular a conscientização ambiental entre os funcionários. A iniciativa não apenas demonstra os benefícios práticos da sustentabilidade, mas também promove uma mudança de atenção em direção a práticas mais ecológicas, gerando uma economia anual em torno de 6.650,00 reais . Telhado da Policlínica é de telhas de tipo zinco, contando com uma a área de 1.640 m² o telhado A, 1.590 m² o telhado B, 210 m² o telhado C e 100 m². A captação é de 601,038 m³/ano perfazendo uma economia anual estimada em torno de R\$ 6.650,00. A regulamentação e os incentivos para o aproveitamento de água de chuva podem fortalecer ainda mais a viabilidade econômica e ambiental dessas iniciativas, garantindo um futuro mais sustentável e resiliente.

Palavra-chave: Policlínica, Aproveitamento de água da chuva, Práticas ambientais, Dimensionamento.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural fundamental para a sobrevivência de todas as formas de vida. No entanto, em muitas regiões do planeta, a disponibilidade de água potável é limitada, e desta forma, é importante explorar alternativas para suprir essa demanda. Uma dessas opções é o aproveitamento de água da chuva em edifícios onde essa escolha é baseada em aspectos sustentáveis e econômicos. Diante do exposto, será feito o estudo de caso do edifício público, Policlínica Estadual Ismael Alexandrino Pinto - São Luís de Montes Belos, Goiás.

1.1METODOLOGIA

Este estudo foi dividido em duas etapas. Na primeira, realizada entre março e abril de 2023, será realizado uma revisão a partir de artigos acadêmicos, livros, dissertações, que pudessem aprofundar o conhecimento a respeito do tema e auxiliar no projeto. Com as palavras-chave: aproveitamento, águas pluviais, benefícios e planeta, foram realizadas buscas em bases virtuais científicas como o Google acadêmico. A segunda etapa consistiu em levantamento de dados dos projetos do edifício da Policlínica Estadual da Região Centro-Oeste, para a análise da implementação do sistema de aproveitamento de água da chuva.

Para o sistema de captação de água pluvial, o reservatório inferior foi calculado com base na NBR 15.527 (ABNT, 2007), que trata de sistemas e requisitos para o aproveitamento da água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Para cálculo do reservatório, foram levantados as séries históricas e o uso dos dados do ano de 2022. Além disso, o método usado foi o de Azevedo Neto. Quando se tratar de edifícios prontos, o aproveitamento das águas de chuva deverá se destinar às áreas comuns, uma vez que o custo de criar uma rede paralela de água pode não ser uma empreitada viável, em decorrência dos custos financeiros.

1.1.1CÁLCULO DO VOLUME DESPREZADO

O fundamento básico do projeto de aproveitamento de águas pluviais assenta-se sobre o grau de atendimento das demandas de água não potável frente à oferta de precipitação pluvial no local. Sabe-se que a quantidade de água pluvial a ser aproveitada é diretamente proporcional à área de captação. Assim, a utilização da água coletada para fins não potáveis requer grandes cuidados de purificação; precisa, então, de um sistema de captação e desprezo do volume captado nos primeiros cinco minutos de chuva, necessários para a limpeza da cobertura quanto a sujidades, filtragem simples e cloração. Como a Norma não obriga o uso de *First-flush*, pois dependerá do uso conforme critério do projetista, foi calculado para o uso do Dispositivo de descarga do volume inicial.

$$V_{Desp.} = \frac{2 \text{ mm}}{m^2} \cdot A_{Cobert.}$$

Volume de desprezo = Área da Cobertura x 2 litros/m².

1.1.2 RESERVATÓRIO DE ÁGUA PLUVIAL

O armazenamento da água da chuva deve ser feito em reservatórios que, além de garantir um padrão de qualidade, evitem possíveis problemas de contaminação e estanqueidade. Esses tanques de armazenagem podem ser construídos a partir de diferentes materiais, tais como, concreto, aço, madeira, fibra de vidro, polietileno, dependendo do uso, capacidade, custos, dentre outros. SILVA, HELLER e CARNEIRO (2012).

Para o dimensionamento do reservatório, faz-se necessário o cálculo da água potável que será substituída por água pluvial, a precipitação pluviométrica local, a área de captação e os coeficientes de perdas que consideram o desperdício no descarte para a limpeza, o volume descartado no início de cada precipitação (*First Flush*), filtragem e captação.

Com o intuito de realizar o cálculo do volume de chuva que dará uma base para a quantidade de água armazenada no reservatório inferior, será adotado o método Azevedo Neto, da NBR 15.527 (ABNT, 2007).

$$V = 0,042 \cdot P \cdot A \cdot T \text{ (m}^3\text{)}$$

Onde:

V - volume em metros cúbicos por mês (m³)

A - área de telhado em metros quadrados (m²)

T - número de meses de pouca chuva

P - precipitação média anual, em mm

0,042 - fator de correção

Neste estudo, substituiu-se a água potável da torneira de jardim pela água captada e reservada no sistema de aproveitamento de água pluvial, e o coeficiente de aproveitamento adotado foi de 14,3.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DISPONIBILIDADE DE RECURSOS HÍDRICOS EM NÍVEL MUNDIAL

A disponibilidade de recursos hídricos em nível mundial é um tema de grande importância, uma vez que a água é um recurso vital para a sobrevivência e o desenvolvimento humano. A disponibilidade de água varia de região para região e depende de vários fatores, como padrões de precipitação, topografia, acesso a fontes de água subterrânea e gestão dos recursos hídricos. Em muitas partes do mundo, a disponibilidade de água já é um desafio, devido à crescente demanda populacional, ao crescimento econômico e às mudanças climáticas. Algumas áreas sofrem com escassez de água, resultando em restrições ao abastecimento humano, agrícola e industrial. Por outro lado, em algumas regiões, ocorrem inundações devido a chuvas intensas ou problemas de gestão inadequada dos recursos hídricos. (LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck. Recursos hídricos no Brasil e no mundo - 2001)

2.2 DISPONIBILIDADE DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL

O Brasil é um país privilegiado em termos de recursos hídricos, possuindo uma das maiores reservas de água doce do mundo. O país é atravessado por grandes bacias hidrográficas, como a Amazônica, a do São Francisco e a do Paraná, que contribuem para a disponibilidade de água em várias regiões. No entanto, a distribuição da água não é uniforme em todo o território brasileiro. Algumas regiões enfrentam problemas de escassez de água, especialmente em períodos de seca, enquanto outras têm uma grande disponibilidade hídrica. A gestão adequada dos recursos hídricos é essencial para garantir o acesso à água potável, a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos e o desenvolvimento socioeconômico. (Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 4 - 2000)

2.3 O DESPERDÍCIO DE ÁGUA POTÁVEL

É um problema sério que afeta a disponibilidade de recursos hídricos. Vazamentos, uso excessivo em atividades domésticas, irrigação ineficiente, falta de conscientização e infraestrutura inadequada são as principais causas desse desperdício. Isso resulta em perdas significativas de água, aumenta os custos de produção e tratamento e coloca pressão sobre os recursos hídricos escassos. Para combater o desperdício, é necessário reparar vazamentos, usar dispositivos economizadores de água, educar sobre a importância da água, promover sistemas de irrigação eficientes e investir em tecnologias de tratamento e reciclagem. A conscientização e a adoção de medidas responsáveis são essenciais para preservar esse recurso vital. (PEREIRA E PAVIONELLI – 2017)

2.4 USO RACIONAL DA ÁGUA

O uso racional da água refere-se a práticas que promovem o consumo responsável e sustentável desse recurso. Envolve a utilização eficiente da água em diferentes setores, como residências, indústrias, agricultura e serviços públicos. O objetivo é reduzir o desperdício, conservar os recursos hídricos e garantir a disponibilidade de água para as gerações futuras. Medidas de uso racional da água incluem reparar vazamentos, instalar dispositivos economizadores de água, educar sobre práticas responsáveis de uso e promover o reúso da água sempre que possível. (CUNHA, MCB, E VILAS BOAS, MH 2019 – 2017)

2.5 USO RACIONAL DA ÁGUA EM CLÍNICAS

O uso racional da água em clínicas e instalações de saúde é fundamental para garantir a segurança dos pacientes, o funcionamento adequado das instalações e a conservação dos recursos hídricos. Além de adotar medidas gerais de uso racional da água, as clínicas podem implementar práticas específicas, como a manutenção regular de equipamentos para evitar vazamentos, a utilização de tecnologias de economia de água em processos de limpeza e esterilização, e o uso de sistemas de recirculação de água em equipamentos médicos que exijam água. (MENDONZA *et al.* 2020)

2.6 APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL

O aproveitamento de água pluvial envolve a coleta, armazenamento e utilização da água proveniente das chuvas. Essa prática é importante para reduzir a demanda por água potável e preservar os recursos hídricos. A água pluvial pode ser coletada a partir de telhados, pátios ou superfícies impermeáveis, direcionada para sistemas de armazenamento, como cisternas, tanques ou barris, e posteriormente utilizada em atividades não potáveis, como irrigação de jardins, limpeza de pisos e descargas sanitárias. O aproveitamento de água pluvial é uma forma eficiente de conservar água potável para usos essenciais. (PINHEIRO, AR 2019)

2.7 QUALIDADE DA ÁGUA PLUVIAL

A qualidade da água pluvial pode variar dependendo de fatores como a poluição atmosférica, a contaminação de superfícies onde a água é coletada e a presença de substâncias químicas. Embora a água pluvial seja geralmente considerada segura para usos não potáveis, é importante realizar uma análise da qualidade antes de utilizá-la. O tratamento da água pluvial pode ser necessário para remover

impurezas e garantir que ela esteja em conformidade com os padrões de qualidade exigidos para usos específicos. (RODRIGUES *et al.* 2017)

2.8 RESERVATÓRIOS DE ÁGUA PLUVIAL

Os reservatórios de água pluvial são estruturas projetadas para armazenar e reter a água coletada das chuvas. Eles podem variar em tamanho e capacidade, desde pequenos tanques residenciais até grandes reservatórios comerciais. Os reservatórios permitem o armazenamento da água pluvial para uso futuro, reduzindo assim a dependência de fontes de abastecimento de água potável. Esses reservatórios podem ser construídos acima do solo, enterrados ou até mesmo integrados à estrutura de edifícios. Os reservatórios de água pluvial são projetados para captar e armazenar a água de forma segura, evitando a contaminação e a proliferação de organismos nocivos. Geralmente, eles são equipados com filtros para remover detritos e impurezas presentes na água coletada. Além disso, é importante realizar a manutenção adequada dos reservatórios para garantir a qualidade da água armazenada. O uso de reservatórios de água pluvial traz benefícios significativos, como a redução da demanda por água potável, a conservação dos recursos hídricos e a mitigação do impacto das chuvas intensas, ajudando a evitar enchentes e a recarga dos lençóis freáticos. (MIERZWA, José Carlos *et al.* – 2007).

No entanto, é importante observar que os regulamentos e as diretrizes para o uso de água pluvial podem variar de acordo com a região. Antes de implementar um sistema de aproveitamento de água pluvial ou construir um reservatório, é recomendável verificar as normas locais e obter as devidas autorizações, quando necessário, para garantir a conformidade com os padrões de qualidade e segurança. (SOUZA *et al* 2018)

3. ESTUDO DE CASO

São Luís de Montes Belos é um município brasileiro do Estado de Goiás. Localiza-se a 120 quilômetros de Goiânia. A população estimada, segundo dados estatísticos do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020), é de 33.852 pessoas, com o Índice de Desenvolvimento Humano-IDH de 0,731. (IBGE – 2022)

Não há posto meteorológico no Município e isso dificulta a obtenção de dados atmosféricos. No entanto, o clima local é do tipo: quente e semi-úmido, com a temperatura média oscilando entre 27º e 28º centígrados. Segundo a agência da Emater de São Luís, a temperatura mínima fica em 19º e a máxima em 35º centígrados. A média de precipitação pluviométrica foi de 577.5 mm ano.

Segundo a Secretaria de Estado de Saúde a Policlínica Estadual Ismael Alexandrino Pinto caracterizada como uma Unidade de Atenção Ambulatorial Especializada (AAE), está situada na Rodovia GO-060, km 118, Zona de Expansão Urbana, São Luís de Montes Belos – GO.



Figura 01: Imagem Policlínica

Fonte: Google Maps

É uma edificação térrea, com área do terreno de 21.041,24 m² e com área construída de 3.775,00 m².



Figura 02: Planta de Situação da Policlínica de São Luís de Montes Belos

Fonte: Google Earth

A cobertura da Policlínica Estadual Ismael Alexandrino Pinto, foi feita com telhas de tipo zinco, contando com uma a área de 1.640 m² o telhado A, 1.590 m² o telhado B, 210 m² o telhado C e 100 m².

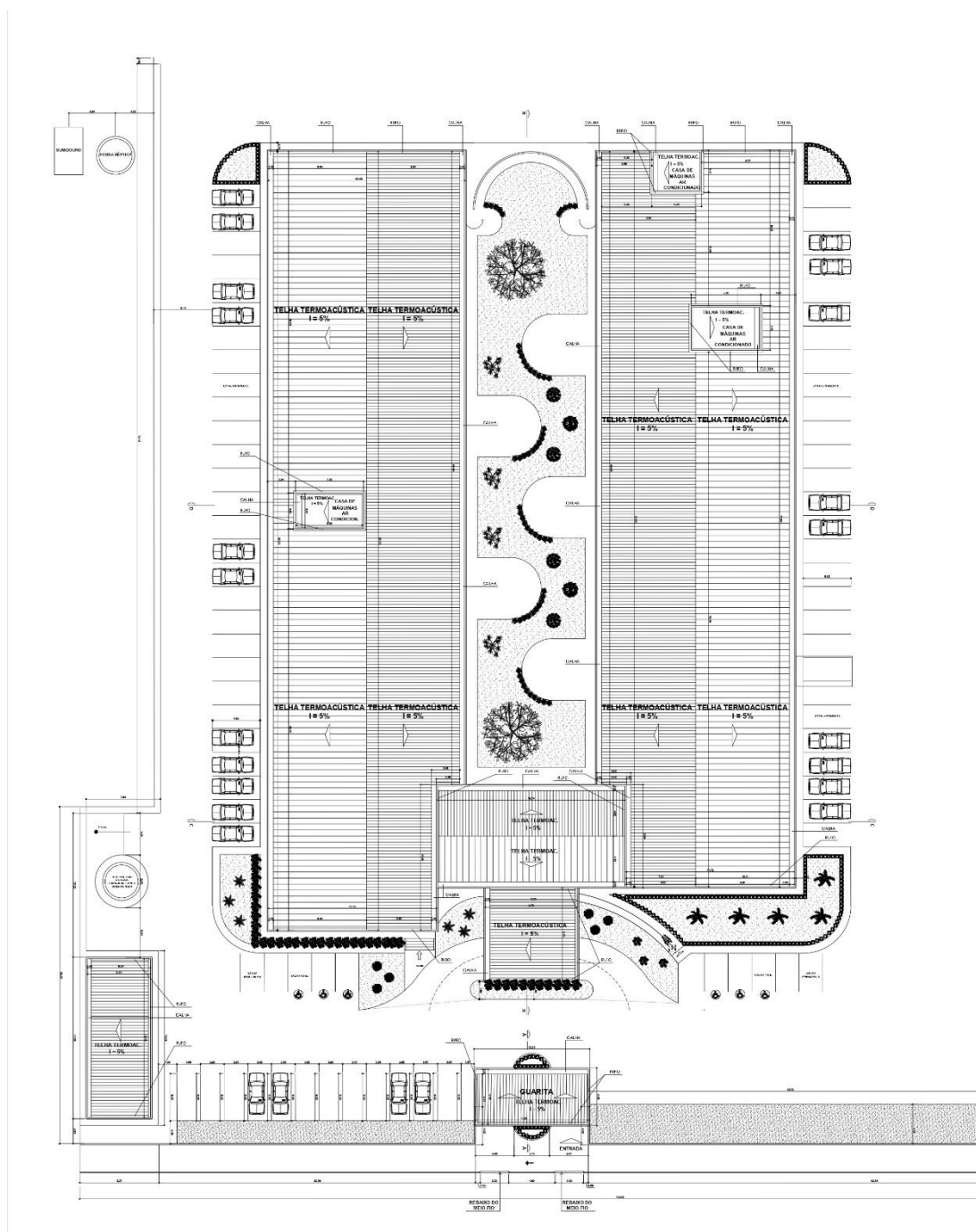


Figura 03 – Planta de Cobertura

Fonte - Projeto Arquitetônico / Beatriz Lima Cardoso Gadia – CAU 5061765280.

Os dados mais recentes empregados neste estudo foram coletados na cidade de Paraúna, localizada no estado de Goiás, onde se encontra o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, que fica a

60,7 Km de São Luís de Montes Belos/GO cidade da qual está situada a Policlínica Estadual Ismael Alexandrino os dados foram utilizados para nortear a pesquisa.

A tabela a seguir mostra a média mensal pluviométrica para os meses dos anos de 2022/2023 da cidade de Paraúna/GO.

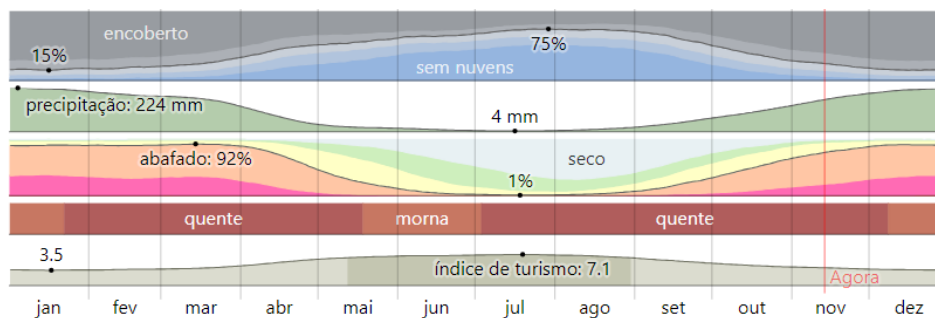


Gráfico 01: Precipitação na cidade de Paraúna no ano de 2023.

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia 2023

3.1 MÉDIA ANUAL DE PRECIPITAÇÃO NA CIDADE DE PARAÚNA – GO

MÊS	ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO (mm)
JANEIRO	268,6
FEVEREIRO	116,8
MARÇO	194,8
ABRIL	67,2
MAIO	24,4
JUNHO	0,2
JULHO	0,8
AGOSTO	0
SETEMBRO	0,4
OUTUBRO	72,8
NOVEMBRO	63,6
DEZEMBRO	56
TOTAL	865,6
Média mensal	73

Tabela 01: Ano de 2022

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia 2023.

MÊS	ÍNDICE DE PRECIPITAÇÃO (mm)
JANEIRO	43,2
FEVEREIRO	3,8
MARÇO	42
ABRIL	25,8
MAIO	0
JUNHO	0
JULHO	0
AGOSTO	0,4
SETEMBRO	16,6
OUTUBRO	59,6
NOVEMBRO	98
DEZEMBRO	0
TOTAL	286,4
Média mensal	25

Tabela 02: Ano de 2023

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia 2023.

Media anual de precipitação dos anos 2022/2023 da cidade de Paraúna/GO

Anos	(mm)
Total de Precipitação 2022	865,6
Total de Precipitação 2023	286,4
Total	1155
Média anual	577,5

Tabela 03: Anos de 2022/2023

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia 2023.

De acordo com a gráficos e tabelas houve mais chuvas no início e no final do ano na cidade de Paraúna/GO, utilizando os dados como base para perspectiva de chuva na cidade de São Luís de Montes Belos.

Leva-se em consideração o consumo percapita da população na unidade, esses dados foram disponibilizados pela empresa Construtora responsavel pela manutenção da Policlínica. As tabelas mostram o consumo dos meses agosto e setembro, onde tem-se o maior consumo do ano.

DATA/MÊS	DATA DIA	LEITURA ANTERIOR	LEITURA ATUAL	CONSUMO EM M³
24/07/2023	Segunda-feira	3719	3720	1
25/07/2023	Terça-feira	3720	3732	12
26/07/2023	Quarta-feira	3732	3730	-2
27/07/2023	Quinta-feira	3736	3740	4
28/07/2023	Sexta-feira	3740	3757	17
29/07/2023	Sábado	3757	3761	4
30/07/2023	Domingo	3761	3762	1
31/07/2023	Segunda-feira	3762	3764,26	2,26
01/08/2023	Terça-feira	3764,26	3778,9	14,64
02/08/2023	Quarta-feira	3778,9	3786,96	8,06
03/08/2023	Quinta-feira	3786,96	3782,23	-4,73
04/08/2023	Sexta-feira	3792,23	3813,63	21,4
05/08/2023	Sábado	3813,63	3820,77	7,14
06/08/2023	Domingo	3820,77	3821,12	0,35
07/08/2023	Segunda-feira	3821,12	3822,47	1,35
08/08/2023	Terça-feira	3822,47	3849,39	26,92
09/08/2023	Quarta-feira	3849,39	3845,49	-3,9
10/08/2023	Quinta-feira	3845,49	3849,91	4,42
11/08/2023	Sexta-feira	3849,91	3870,76	20,85
12/08/2023	Sábado	3870,76	3875,19	4,43
13/08/2023	Domingo	3875,19	3876,44	1,25
14/08/2023	Segunda-feira	3876,44	3880,91	4,47
15/08/2023	Terça-feira	3880,91	3899,19	18,28
16/08/2023	Quarta-feira	3899,19	3905,05	5,86
17/08/2023	Quinta-feira	3905,05	3909,63	4,58
18/08/2023	Sexta-feira	3909,63	3931,27	21,64
19/08/2023	Sábado	3931,27	3935,61	4,34
20/08/2023	Domingo	3935,61	3936,45	0,84
21/08/2023	Segunda-feira	3936,45	3937,04	0,59
22/08/2023	Terça-feira	3937,04		5,06
			Total	229,1
			Média/dia	7,43666667

Tabela 04:

Consumo de água dos meses de agosto.

DATA/MÊS	DATA DIA	LEITURA ANTERIOR	LEITURA ATUAL	CONSUMO EM M³
22/09/2023	Terça-feira	3937,04	3942,1	5,06
23/09/2023	Quarta-feira	3942,1	3947,43	5,33
24/09/2023	Quinta-feira	3947,43	3952,99	5,56
25/09/2023	Sexta-feira	3952,99	3971,78	18,79
26/09/2023	Sábado	3971,78	3976,48	4,7
27/09/2023	Domingo	3976,48	3977,59	1,11
28/09/2023	Segunda-feira	3977,59	3979,07	1,48
29/09/2023	Terça-feira	3979,07	3990,36	11,29
30/09/2023	Quarta-feira	3990,36	4006,87	16,51
01/10/2023	Quinta-feira	4006,87	4013,53	6,66
02/10/2023	Sexta-feira	4013,53	4035,82	22,29
03/10/2023	Sábado	4035,82	4046,74	10,92
04/10/2023	Domingo	4046,74	4047,87	1,13
05/10/2023	Segunda-feira	4047,87	4048,79	0,92
06/10/2023	Terça-feira	4048,79	4053,11	4,32
07/10/2023	Quarta-feira	4053,11	4057,19	4,08
08/10/2023	Quinta-feira	4057,19	4061,67	4,48
09/10/2023	Sexta-feira	4061,67	4061,8	0,13
10/10/2023	Sábado	4061,8	4061,97	0,17
11/10/2023	Domingo	4061,97	4062	0,03
12/10/2023	Segunda-feira	4062	4062,3	0,3
13/10/2023	Terça-feira	4062,3	4067,19	4,89
14/10/2023	Quarta-feira	4067,19	4102,11	34,92
15/10/2023	Quinta-feira	4102,11	4106,92	4,81
16/10/2023	Sexta-feira	4106,92	4128,96	22,04
17/10/2023	Sábado	4128,96	4132,14	3,18
18/10/2023	Domingo	4132,14	4133	0,86
19/10/2023	Segunda-feira	4133	4133,17	0,17
20/10/2023	Terça-feira	4133,17	4141,2	8,03
21/10/2023	Quarta-feira	4141,2		5,03
			Total	208,18
			Média/dia	6,973

Tabela 05:

Consumo de água dos meses de setembro.

3.2 CONSUMO DE ÁGUA ANUAL PARA JARDINS DA UNIDADE

Os meses de agosto e setembro foram adotados como referência para o cálculo do consumo anual. Nesse contexto, empregou-se a média desses meses como um ponto de partida, multiplicando-a pelos demais meses do ano, a fim de obter uma estimativa abrangente e representativa do consumo ao longo do período. Essa abordagem visa proporcionar uma análise mais abrangente e precisa do padrão de consumo anual.

Agosto = 7,436 m³

Setembro = 6,973 m³

$$7,436 + 6,973 = 14,409$$

$$\frac{14,409}{2} = 7,204 \text{ m}^3/\text{mês}$$

$$7,204 * 12 = 86,448 \text{ m}^3/\text{ano}$$

O cálculo realizado abrange especificamente o consumo nas áreas de pátios e jardins da unidade em questão. Essa análise se concentra de maneira direcionada nos espaços externos, considerando fatores como irrigação, associados às áreas verdes e de lazer.

QUANTITATIVO	
Meio-Fio	1.447,52 m
Alambrado	548,75 m
Pavimentação	5.914,34 m ²
Grama	1.101,57 m ²

Tabela 06: Quantitativo em área de jardins e patios

Fonte: Projeto Arquitetônico / Beatriz Lima Cardoso Gadia – CAU 5061765280

3.3 VOLUME ANUAL DE CAPTAÇÃO DA UNIDADE

Utilizando o Método Azevedo Neto, conforme a norma NBR 15527 (ABNT, 2007) o volume de chuva é obtido pela seguinte equação:

$$V = 0,042 * P * A * T$$

Onde:

V: volume de água aproveitável (litros);

P: precipitação média anual (mm);

A: área de coleta (m²);

T: número de meses de pouca chuva ou seca (adimensional).

Utiliza-se os dados do gráfico da estação de Paraúna pode-se obter:

$$V = 0,042 * P * A * T$$

$$V = 0,042 * (577,5/1000) * 3.540 * 7$$

$$V = 601.038/1000 \quad V=601,038 \text{ m}^3/\text{ano}$$

3.4 PORCENTAGEM DE APROVEITAMENTO

A captação de água pluvial da Policlínica Ismael Alexandrino Pinto é de 601.038 litros por ano, levando em consideração que o consumo é 86.454 litros/ano para jardins e pátios, a porcentagem de aproveitamento adotado foi de 14,3%, conforme demonstra o cálculo a seguir:

Mg: Média de gastos anuais da unidade (m³);

V: volume de água aproveitável (m³);

$$D = \frac{Mg}{V}$$

$$\frac{86,454}{601,038} = 0,143$$

$$0,143 * 100 = 14,3\%$$

3.5 ECONOMIA GERADA PELO SISTEMA

CATEGORIAS	Faixas de consumo / economia	TARIFAS		
		ÁGUA (R\$/m³)	ESGOTO (R\$/m³)	
	(m³/mês)		Coleta e afastamento	Tratamento
Residencial Normal	1 - 10	5,18	4,14	1,04
	11 - 15	5,85	4,68	1,17
	16 - 20	6,69	5,35	1,34
	21 - 25	7,59	6,07	1,52
	26 - 30	8,57	6,86	1,71
	31 - 40	9,78	7,83	1,96
	41 - 50	11,07	8,85	2,21
	+ 50	12,62	10,09	2,52
Pública	1 - 10	9,78	7,83	1,96
	+ 10	11,07	8,85	2,21
Comercial I (Médio e Grande Porte)	1 - 10	11,07	8,85	2,21
	+ 10	12,62	10,09	2,52
Comercial II (Pequeno Porte)	1 - 10	5,53	4,43	1,11
Industrial	1 - 10	11,07	8,85	2,21
	+ 10	12,62	10,09	2,52

Tabela 07: Tabela de tarifas de água e esgoto.

Fonte: RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 203 /2023 – CR

Utilizando as informações disponíveis na tabela, procedeu-se ao cálculo para estimar os ganhos ou a economia associada. Tendo em vista que fora coletado 601,038m³, e custo do m³ é de R\$11,07 segundo a RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 203 /2023 - CR, entende-se que:

E: economia (R\$)

V: volume de água aproveitável (m³);

C: custo do m³ (R\$);

$$E = V * C$$

$$E = 601,038 * 11,07$$

$$E = R\$ 6.643,49/\text{ano}$$

Dessa maneira, verifica-se que a unidade consegue gerar uma economia anual estimada em torno de R\$ 6.650,00. Essa cifra, obtida mediante uma análise abrangente de diversos fatores e dados relevantes, reflete não apenas a eficácia das práticas adotadas, mas também evidencia o potencial de otimização contínua para alcançar ainda mais eficiência econômica ao longo do tempo.

3.5 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

Com base nos dados anteriores pode-se obter o dimensionamento dos reservatórios, levando em consideração o mês que mais choveu.

D: Dimensionamento do reservatório (litros);

A : Área do telhado (m²);

M: Mês com maior quantidade de chuva (mm);

Sendo assim:

$$D = \frac{A * M}{1000}$$

$$D = \frac{3540 * 268,6}{1000}$$

$$D = 950,84 \text{ Litros}$$

Uma vez que o calculo do dimensionamento é de 950,84 litros chega-se a conclusão que o reservatório a ser utilizado deverá ser de 1000 litros.

A seguir, apresentamos uma simulação completa do projeto, destacando o sistema de aproveitamento pluvial cuidadosamente instalado e pronto para uso. Nesta representação, é possível visualizar a integração harmoniosa dos componentes, desde as calhas que captam a água da chuva até o reservatório estrategicamente posicionado. A tubulação eficiente conduz a água de maneira controlada, enquanto a presença de dispositivos de filtragem e purificação assegura a qualidade da água armazenada. O sistema é complementado por uma bomba de água recalque, pronta para distribuir a água captada para os diversos pontos de uso. Essa solução não apenas proporciona uma gestão sustentável dos recursos hídricos, mas também destaca-se pela praticidade e eficácia em sua implementação.



Figura 04:Projeto de situação do Sistema de aproveitamento de água da chuva.

Fonte - Projeto Arquitetônico / Beatriz Lima Cardoso Gadia – CAU 5061765280.

4. DISCUSSÕES E RESULTADOS

Segundo os autores Chaib, Erick Brizon, et al. (2015) Há uma escassez relativa hídrica, indicando que a água potável precisa ser gerenciada com cuidado, sugerindo-se o uso de água de chuva em residências para suprir demandas não potáveis, reduzindo a dependência da água potável. Sugira avaliar modelos de financiamento e incentivos para disseminação do sistema. Os resultados indicam que a ideia é viável, mas pode precisar de suporte financeiro ou incentivos para se tornar mais atraente economicamente.

De acordo com Dornelles, Fernando, Rutinéia Tassi, et al Joel Avruch Goldenfum (2010) é de suma importância a regulamentação e incentivo ao aproveitamento de águas de chuva no Brasil, tanto para uso residencial quanto industrial. No entanto, destaca que questões técnicas precisam ser mais científicas, especialmente relacionadas à capacidade de reserva dos sistemas. O trabalho propõe a introdução de um coeficiente de redução da redução anual para evitar deficiências no reservatório. Utilizando dados de 16 postos pluviométricos em diversas regiões, foram calculados volumes de reserva por diferentes métodos, incluindo empíricos, probabilísticos e de simulação. Os resultados mostram uma grande variação entre os métodos, sendo o de simulação o que gera os maiores volumes, e o Método Prático Alemão os menores. Nenhum posto aproveitou o aproveitamento total, com o melhor resultado alcançando cerca de 87%.

5.CONCLUSÃO

O estudo em questão proporciona uma análise aprofundada sobre o aproveitamento de águas pluviais na Policlínica Estadual Ismael Alexandrino Pinto, localizada em São Luís de Montes Belos, GO. A pesquisa adotou uma abordagem exploratória e descritiva, combinando métodos qualitativos e quantitativos para avaliar os resultados da implementação de sistema de aproveitamento de água da chuva na unidade.

Os resultados obtidos revelam de maneira consistente a eficácia do sistema de captação de águas pluviais. A redução significativa no consumo de água tratada, atingindo até 14,3%, destaca não apenas a eficiência técnica do sistema, mas também seus benefícios tangíveis em termos de conservação de recursos hídricos e economia financeira.

Além dos aspectos quantitativos, o estudo desempenha um papel crucial ao estimular a conscientização ambiental entre os funcionários da policlínica. A iniciativa não apenas demonstra os benefícios práticos da sustentabilidade, mas também promove uma mudança de atenção em direção

a práticas mais ecológicas. Essa mudança de perspectiva não se limita ao ambiente de trabalho, estendendo-se à comunidade em geral, revelando um potencial efeito multiplicador na sociedade.

Ao analisar a revisão bibliográfica, destacam-se pontos relevantes, como a importância global da gestão dos recursos hídricos, a disponibilidade de água no Brasil, os desafios do desperdício de água potável e a necessidade de práticas racionais em diversos setores, incluindo clínicas e instalações de saúde. O estudo de caso fornece uma visão detalhada da situação em São Luís de Montes Belos, incluindo dados meteorológicos, características da policlínica e os cálculos para o dimensionamento do sistema de captação.

Diante dos resultados e discussões apresentados, a implementação do sistema de captação de águas pluviais na Policlínica Estadual Ismael Alexandrino Pinto não apenas valida a eficiência técnica desse método, mas também destaca seu papel crucial na promoção de práticas sustentáveis e conscientização ambiental. Contribui, assim, para um modelo mais responsável e resiliente em relação aos recursos hídricos.

Essa pesquisa não apenas enfatiza a relevância do aproveitamento de águas pluviais em ambientes públicos, mas também sugere que a disseminação dessas práticas pode ser uma solução valiosa para enfrentar os desafios da escassez hídrica e promover uma cultura mais sustentável em comunidades locais. Considerando as conclusões e as recomendações dos autores citados, a regulamentação e os incentivos para o aproveitamento de água de chuva podem fortalecer ainda mais a viabilidade econômica e ambiental dessas iniciativas, garantindo um futuro mais sustentável e resiliente.

REFERÊNCIAS

ARRIETA, FB et al. Captação de água da chuva para segurança e uso doméstico em um edifício residencial em Madri, Espanha: avaliação da qualidade, quantidade e riscos potenciais à saúde da água. *Jornal de Produção Mais Limpa*, v. 190, p. 391-401, 2018.

CHAIB, ERICK BRIZON, et al. "Avaliação do potencial de redução do consumo de água potável por meio da implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva em edificações unifamiliares." *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 20.3 (2015): 605-614.

DORNELLES, FERNANDO, RUTINÉIA TASSI, and Joel Avruch Goldenfum. "Avaliação das técnicas de dimensionamento de reservatórios para aproveitamento de água de chuva." *Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos*. Porto Alegre, RS. Vol. 15, n. 2 (abr./jun. 2010), p. 59-68 (2010).

FERRARI, RA et al. Reaproveitamento de água pluvial em edifícios: Estudo de caso em um edifício residencial de Porto Alegre, RS. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, v. 3, pág. 599-609, 2015.

GANESH, R.; PRAKASH, KS Uma revisão sobre a captação de água da chuva e seu potencial aproveitamento em edificações. *Avaliações de Energia Renovável e Sustentável*, v. 81, p. 1369-1384, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Rio de Janeiro, 2019.

Lima, Jorge Enoch Furquim Werneck. "Recursos hídricos no Brasil e no mundo." (2001).

MAIO, Simone. Estudo de práticas de aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Mierzwa, José Carlos, et al. "Águas Pluviais: método de projeto do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado." *Revista de Gestão de Águas da América Latina* 4 (2007): 29-37.

RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 203 /2023 - CR

TORRE, AL et al. Análise comparativa do desempenho e economia da captação de água da chuva em edifícios residenciais urbanos e rurais em quatro regiões climáticas da Espanha. *Revista de Produção Mais Limpa*, v. 159, p. 236-248,

Capítulo 3

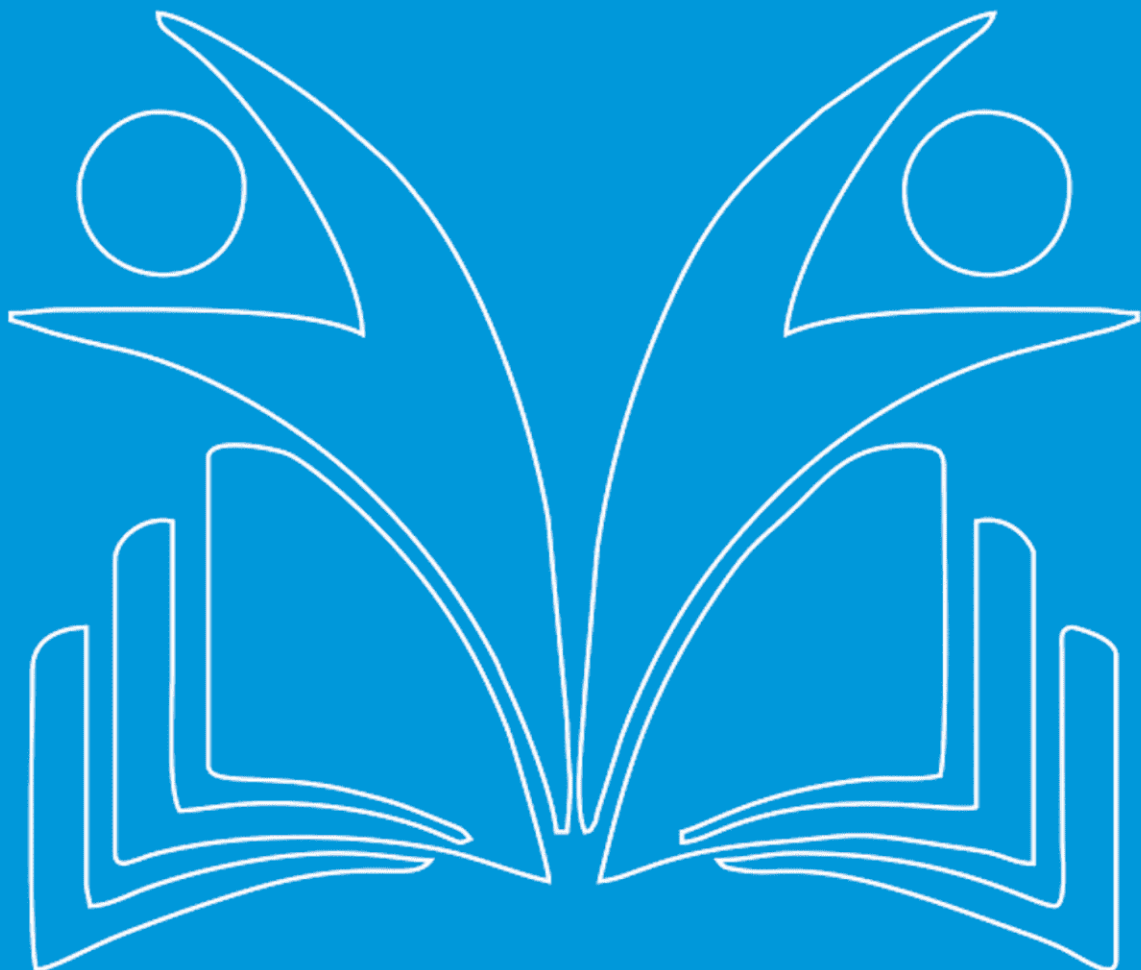


10.37423/231108430

ANÁLISE DA PARCERIA PÚBLICO PRIVADA VISANDO A MODERNIZAÇÃO DO PARQUE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA DO MUNICÍPIO DE PALHOÇA/SC

WILD FREITAS DA SILVA SANTOS

Universidade Federal da Bahia



Resumo: Este trabalho trata do estudo de um Plano de Negócios para uma PPP de iluminação pública. Com o crescente aumento da preocupação em relação aos problemas ambientais, começam a surgir soluções para a efficientização de diversos setores do sistema elétrico, principalmente na iluminação pública. Uma das formas mais eficientes de reduzir a energia consumida pela Iluminação Pública é através da substituição de todas as lâmpadas convencionais do sistema pela tecnologia LED, atingindo assim uma economia na ordem de 50%. Por conta do elevado custo da tecnologia LED, o poder público vem buscando o investimento privado, sob a modalidade de Parceria Público-Privada como alternativa para viabilizar economicamente a modernização da iluminação. Para isso, desenham-se modelos de negócio e de financiamento que viabilizem o processo de modernização do parque de iluminação pública dos municípios brasileiros, tornando-se o negócio atrativo para o parceiro privado e ao mesmo tempo satisfazendo as necessidades do Poder Público na busca por cidades mais seguras, atrativas e sustentáveis. Através deste estudo, será descrito um projeto de PPP de iluminação pública, assim como seu modelo de negócio e análise econômico-financeira.

Palavras chave: Iluminação Pública, Parceria Público Privada, Luminárias LED, Análise de Investimentos de Projeto

INTRODUÇÃO

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O combate ao desperdício de energia e eficiência energética são assuntos cada vez mais recorrentes no cenário mundial. A busca por processos e tecnologias mais eficientes em termos de utilização da energia elétrica tem sido motivada por questões de natureza econômica e ambiental, visando o desenvolvimento sustentável.

As cidades estão entre os maiores consumidores de energia elétrica no mundo, respondendo por dois terços de todo o consumo e por mais de 70% das emissões globais de gases de efeito estufa. No ambiente urbano, em geral, as redes de iluminação constituem uma importante fonte de consumo de energia.

Em âmbito global, os países participantes da 21ª Conferência das Partes (COP-21) em novembro de 2015 submeteram suas propostas de contribuição para a questão da mudança climática, que passaram a ser denominadas INDC's - *Intended Nationally Determined Contributions* (ratificadas em abril de 2016). Entre outros objetivos, o Brasil se comprometeu a realizar a transição de sua matriz energética para energias renováveis, que inclui ganhos de eficiência no setor elétrico da ordem de 10% até 2030. Cerca de um quinto desta meta poderia ser obtido com a conversão do parque de iluminação pública para tecnologias mais eficientes.

Luminárias que utiliza a nova tecnologia de LEDs, ou *Light Emitting Diodes*, despontaram como uma alternativa técnica e comercialmente viável para investimentos em eficiência energética no segmento de iluminação pública. As lâmpadas de LEDs são entre 40% e 60% mais eficientes em termos de consumo de energia do que as tecnologias atualmente instaladas no parque brasileiro, além de oferecer reduções importantes nos custos de operação e manutenção e da capacidade de integrar a infraestrutura das luminárias eficientes com sistemas inteligentes de monitoramento e controle. Dessa forma, é possível dispor de uma estrutura básica para as “cidades inteligentes”. Além disso, a qualidade superior da nova tecnologia de iluminação tem o efeito positivo de aumentar a percepção de segurança dos cidadãos, pois conta de seu espectro luminoso mais amplo, que permite uma visualização mais rica em detalhes.

Embora mais eficientes, a tecnologia de LEDs é bem mais intensiva em termos de capital do que as tecnologias anteriores. Os municípios estão analisando a possibilidade de atrair o capital privado - por exemplo, sob a forma de PPP - para realizar esse processo de modernização, liberando as prefeituras do ônus de utilizar suas dotações orçamentárias ou espaço fiscal para fazer os investimentos

necessários. Os projetos de PPP são uma alternativa mais viável para cidades de grande e médio porte com boa posição creditícia do que para a maioria dos municípios brasileiros onde essas características não são observadas. Por isso, faz-se necessário desenhar modelos de negócio e de financiamento que permitam “universalizar” o processo de modernização do parque de iluminação pública dos municípios brasileiros, levando em conta a grande diversidade existente.

Com base nesse contexto e no objetivo de melhorar a qualidade e eficiência do serviço de Iluminação Pública, a Prefeitura de Palhoça por meio de um edital de chamamento público solicitou que eventuais empresas interessadas apresentassem estudos de viabilidade de Contratação de Parceria Público-Privada para modernização, otimização, expansão, operação e manutenção da infraestrutura do parque de Iluminação Pública do Município de Palhoça.

METODOLOGIA

A metodologia escolhida para este trabalho consistiu em pesquisa bibliográfica sobre o tema Parcerias Público Privadas no setor de Iluminação Pública dos Municípios e, em seguida, os conceitos foram aplicados no desenvolvimento da Análise de Projeto de Investimentos da Parceria Público Privada para a Modernização do Parque de Iluminação Pública do Município de Palhoça/SC. Para tal, será desenvolvido o Plano de Negócio do Projeto, visando identificar a atual situação operacional, mercadologia e estratégica. Em seguida, aprofundaremos a Análise de Projeto de Investimentos.

ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

No Capítulo 1 será descrito o projeto, detalhando suas principais características, justificativa, objetivos, público alvo e serviços a serem comercializados.

No Capítulo 2 apresentaremos a análise do mercado, envolvendo o planejamento estratégico do projeto, detalhando o mercado do setor, os principais players, além de uma análise de SWOT e das Cinco Forças de Porter.

No Capítulo 3 descreveremos a Análise de Investimentos do Projeto, detalhando todos seus demonstrativos, balanços, fluxos de caixa além índices econômicos e financeiros.

1 DESCRIÇÃO DO PROJETO

1.1 DESCRIÇÃO DO NEGÓCIO

Segundo Rocha (2005), a Parceria Público-Privada (PPP) é uma forma de contratação de determinadas atividades tradicionalmente oferecidas pelo setor público, por meio da qual a Administração Pública

contrata uma ou mais empresas privadas, com a finalidade de, por exemplo, construir e administrar estradas, presídios, estações de tratamento de água e esgoto, hospitais, escolas e outros serviços de utilidade pública. Ao levar em conta as potencialidades de cada um dos parceiros, a estruturação de projetos como PPP's possibilita a consecução do objeto do contrato de forma economicamente mais eficiente.

A PPP estimula os investimentos privados na realização de obras e serviços públicos, sendo adequado para órgãos públicos que possuam necessidades de investimentos e não dispõem de recursos suficientes para a realização dos empreendimentos.

No Brasil, este modelo relativamente novo de atuação para modernização do setor de infraestrutura, surgiu da necessidade de suprir a falta de recursos públicos provenientes da arrecadação de impostos a serem aplicados em infraestrutura, com destaque para as áreas de energia, rodovias e saneamento. Esta modalidade de contratação está juridicamente amparada pelas seguintes leis: (a) Lei Federal de PPP - Lei nº 11.079/04; (b) Lei de Concessões - Lei nº 8.987/95; e Lei das Licitações - Lei nº 8.666/93. Além destes diplomas federais, no âmbito municipal tem-se a Lei nº 8.538, de 18 de outubro de 2013 e o Decreto nº 16.078 de 01 de agosto de 2014, que estabelecem as regras do presente certame.

É premissa da PPP a eficiência no emprego dos recursos públicos, o respeito aos interesses dos destinatários finais, a responsabilidade fiscal, a transparência de procedimentos e decisões, a repartição objetiva de riscos, a sustentabilidade financeira do empreendimento e a otimização da expertise técnica e administrativa do setor privado na alocação de recursos, no gerenciamento das obras e na operação do sistema concebido.

Atualmente, as pessoas já percebem claramente o vínculo entre iluminação e a segurança, o embelezamento das cidades, a valorização do patrimônio público, a orientação dos percursos, o impulso às atividades econômicas e de lazer, além dos ganhos com o combate ao desperdício de energia elétrica. Em razão disso, caberá à CONCESSIONÁRIA a adoção de providências para dotar o Município de um sistema de iluminação pública de qualidade e capaz de:

- Promover a melhoria do índice de iluminância implantado, em conformidade com o tipo de via pública;
- Promover a uniformidade da iluminação nas vias e nas calçadas;
- Promover a redução do consumo energético através da utilização de novas e mais eficientes tecnologias;
- Implantar Centro de Comando e Controle para acompanhamento dos serviços e auxílio na tomada de decisões;

- Viabilizar a aplicação de ferramentas de Tecnologia da Informação e telegestão no controle efetivo em tempo real do comportamento do Sistema de Iluminação Pública, de forma individualizada quanto aos pontos luminosos;
- Controlar e medir a eficiência da prestação do serviço pela luminosidade entregue;
- Promover a melhoria do nível de serviço de Iluminação Pública, especialmente na correção de incidentes e problemas correlatos;
- Permitir a detecção de incidentes na Rede de Iluminação Pública em tempo real;
- Possibilitar ação imediata da CONCESSIONÁRIA na resolução dos problemas existentes no sistema de iluminação, independente de chamamento do cidadão;
- Desenvolver canais direto de comunicação com o cidadão através de sistemas informatizados compatíveis com *smartphones*, *iPads*, *tablets* e outros equipamentos de informática de uso geral;
- Ampliar a disponibilidade e a capacidade do Sistema de Iluminação Pública;
- Implantar e manter atualizado um banco de dados cadastrais, em plataforma confiável de informática, do patrimônio existente do sistema de iluminação pública, disponível on-line ao PODER CONCEDENTE e ao cidadão;
- Garantir a atualização constante, a integridade e a confiabilidade dos dados de cadastro técnico/inventário do Sistema de Iluminação Pública;
- Promover o controle eletrônico e a automação como meios para garantir a transparência da informação e da gestão, bem como evitar interferência e manipulação de dados Rede de Iluminação Pública;
- Promover iniciativas de uso compartilhado da estrutura do Sistema de Iluminação Pública, alinhando o município às iniciativas de sustentabilidade e de cidades inteligentes;
- Prover a manutenção corretiva e preventiva dos sistemas de iluminação pública;
- Garantir a realização de obras de modernização, universalização em perfeita sintonia com o planejamento urbano de Palhoça;
- Prover o assessoramento à Prefeitura Municipal para a definição das orientações e tomada de decisão;
- Estruturar o modelo de negócio e as soluções tecnológicas de modo a possibilitar a fiscalização, pelo Município, das ações do concessionário, sempre que necessário para garantia do fiel cumprimento do contrato de concessão, permitindo acesso do poder

público aos dados primários e informações operacionais do Sistema de Iluminação Pública, remotamente e em tempo real;

- Direcionar o estudo de forma a adequar os custos iniciais decorrentes do projeto aos valores recebidos pelo Município, por meio da arrecadação da Contribuição para Custeio do Serviço de Iluminação Pública (CIP), permitindo a redução das despesas operacionais ao longo da execução do contrato de concessão;

Para assegurar o cumprimento dos compromissos acima, a Administração Pública estabeleceu os requisitos contratuais de performance associados ao pagamento da remuneração, garantindo a realização das obras no tempo estabelecido e a prestação de serviços de qualidade aos usuários, de modo a serem alcançados rigorosos objetivos e metas de qualidade.

1.2 PRINCIPAIS OBJETIVOS DO PROJETO

A Modernização, Otimização, Expansão, Operação e Manutenção da Infraestrutura do Sistema de Iluminação Pública do Município de Palhoça são objetivos a serem alcançados na implantação do Projeto de Parceria Público Privada de 15 anos de implantação.

1.3 PÚBLICO ALVO

Os públicos alvos do Projeto são:

- Prefeitura Municipal de Palhoça/SC (contratante);
- Habitantes do município de Palhoça/SC;
- Turistas.

1.4 SERVIÇOS COMERCIALIZADOS

Visando atender os principais objetivos citando acima no município de Palhoça/SC, a Concessionária deverá aplicar as seguintes ações, em conformidade com o projeto de engenharia:

1.4.1 TRANSPOSIÇÃO TECNOLÓGICA

A CONCESSIONÁRIA deverá realizar a substituição de todos os pontos luminosos (100%) do parque atual do Município de Palhoça para pontos com tecnologia LED. A transposição tecnológica deverá garantir adequação funcional, adequação às boas práticas e normas ambientais, melhoria da qualidade da luz emitida e redução do consumo de energia. A escolha da CONCESSIONÁRIA não poderá ser por tecnologia incandescente, mista e de vapor de mercúrio, por terem menor eficiência energética

quando comparadas as outras tecnologias disponíveis no mercado e serem geradoras de materiais poluentes.

O plano de modernização do parque de iluminação de Palhoça se dará em dois anos, na proporção de 33,33% no primeiro ano, e o restante no segundo ano. As trocas se darão da seguinte maneira:

Pela ordem decrescente da potência instalada atual, buscando uma maior economia desde o início do contrato;

Pela ordem decrescente da importância das vias, em razão de sua classificação pela NBR 5101. Assim, as trocas nas vias se darão pela ordem V1, V2, V3, V4 e V5.

1.4.2 REMODELAMENTO DAS VIAS

A CONCESSIONÁRIA deverá implantar novos pontos de iluminação provenientes da necessidade de adequação das vias as normas técnicas vigentes. Este serviço se dará em um ritmo da seguinte maneira:

Tabela 1 - Cronograma de Remodelamento

ANO	UN	1	2
Luminárias (unidade)	un	177	357
Postes (unidade)	un	181	364
Braços (unidade)	un	181	364
Cabo (metro)	m	42.480	85.680
Conector (unidade)	un	531	1.071
Quadro de Comando e Medição (unidade)	un	12	24

1.4.3 CRESCIMENTO VEGETATIVO

A CONCESSIONÁRIA deverá implantar novos pontos de iluminação provenientes do crescimento vegetativo do parque de iluminação pública. Este serviço se dará em um ritmo da seguinte maneira:

Tabela 2 - Cronograma de Crescimento Vegetativo - Anos 01 até 05

ANO	1	2	3	4	5
PONTOS/ANO	1333	2667	548	559	570
ACUMULADO	1.333	4.000	4.548	5.106	5.676

Tabela 3 - Cronograma de Crescimento Vegetativo - Anos 06 até 10

ANO	6	7	8	9	10
PONTOS/ANO	581	593	605	617	630
ACUMULADO	6.258	6.851	7.456	8.073	8.703

Tabela 4 - Cronograma de Crescimento Vegetativo - Anos 11 até 15

ANO	11	12	13	14	15
PONTOS/ANO	642	655	669	682	696
ACUMULADO	9.345	10.001	10.669	11.351	12.047

Adicionalmente as luminárias citadas acima, foram consideradas a instalação dos postes, braços, cabos e quadros por ano necessários para o crescimento vegetativo previsto:

Tabela 2 - Cronograma dos demais materiais para Crescimento Vegetativo

ANO	1	2	3	4	5
Postes (unidade)	42	84	24	24	24
Braços (unidade)	1.344	2.688	555	576	584
Cabo (metro)	10.373	20.747	5.071	5.115	5.160
Conector (unidade)	4.002	8.004	1.649	1.682	1.716
Quadro de Comando e Medição (unidade)	6	12	12	12	12

ANO	6	7	8	9	10
Postes (unidade)	24	24	24	24	24
Braços (unidade)	591	602	622	630	639
Cabo (metro)	5.206	5.253	5.300	5.349	5.399
Conector (unidade)	1.750	1.785	1.821	1.857	1.895
Quadro de Comando e Medição (unidade)	12	12	12	12	12

ANO	11	12	13	14	15
Postes (unidade)	24	24	24	24	24
Braços (unidade)	653	671	680	690	712
Cabo (metro)	5.450	5.502	5.554	5.608	5.663
Conector (unidade)	1.934	1.972	2.012	2.052	2.093
Quadro de Comando e Medição (unidade)	12	12	12	12	12

1.4.4 EMBELEZAMENTO

A CONCESSIONÁRIA deverá implantar o plano de embelezamento, que abrange as ações de viés estético que têm como intuito a diminuição da poluição visual da cidade e a revitalização de monumentos e espaços. Deverá ser realizada uma ação de embelezamento, voltada para a iluminação de destaque de um conjunto significativo de monumentos arquitetônicos e espaços de alto significado para a história da cidade, com as seguintes quantidades totais previstas:

Tabela 6 - Cronograma de Embelezamento

TIPO	ANO		
	1	2	3
Aparelhos de embutir(baixa potência)	0	20	0
Aparelhos de embutir (alta potência)	0	79	0
Aparelhos lineares(baixa potência)	0	15	0
Aparelhos lineares(média potência)	0	43	0
Aparelhos de sobrepor (Média-baixa potência)	0	0	8
Aparelhos de sobrepor (média potência)	0	0	37
Aparelhos de sobrepor(alta potência)	0	0	92
Aparelhos de sobrepor branco(alta potência)	0	0	6
Aparelhos de sobrepor tipo direct view RGB	0	0	6
Sistema de controle 1 (instalação dinâmica)	0	0	2
TOTAL	0	157	151

1.4.5 PLANO DE MELHORIA

Visando garantir a qualidade e a confiabilidade do sistema de iluminação pública de Palhoça, ou seja, mantê-lo em pleno funcionamento durante todo o período noturno, a CONCESSIONÁRIA deverá implantar o Plano de Melhoria da Rede de Iluminação Pública. Esta ação visa reduzir as falhas do sistema de iluminação pública, garantindo reduções de custos operacionais.

A Ação Estratégica contemplará as substituições de postes e braços da rede exclusiva de iluminação Pública, como também a instalação de quadros de comando e medição dos circuitos com a finalidade de controle do consumo energético.

De acordo com as missões de reconhecimento e avaliação qualitativa dos componentes da rede de alimentação do parque de iluminação pública de Palhoça detectou-se a necessidade de uma substituição parcial dos mesmos, conforme tabela demonstrada a seguir.

Tabela 7 - Previsão de Melhorias

Plano de Melhoria				
Ação Estratégica	Descrição da Natureza da ação	Quantidade da ação	Investimento (R\$)	Horizonte implantação ação
1	Substituição de Braços	23.172	3.522.968,86	15 anos

Devido às questões de logística de fornecimento de materiais, de mobilização e de planejamento, o início da execução destas obras ocorrerá após carência de 6 meses.

1.4.6 VANDALISMO

Para casos decorrentes de acidentes, vandalismos ou furtos, a CONCESSIONÁRIA deverá arcar com as despesas de manutenção, sendo previstos os seguintes quantitativos anuais:

Tabela 8 - Cronograma de Substituição de materiais devido Vandalismo

ANO	1	2	3	4	5
Luminárias (unidade)	25	36	36	36	36
Postes (unidade)	12	12	12	12	12
Cabo (metro)	6.999	7.821	8.334	8.502	8.673

ANO	6	7	8	9	10
Luminárias (unidade)	36	36	36	36	36
Postes (unidade)	12	12	12	20	24
Cabo (metro)	8.848	9.026	9.208	9.394	9.583

ANO	11	12	13	14	15
Luminárias (unidade)	36	36	36	47	48
Postes (unidade)	24	24	24	24	24
Cabo (metro)	9.776	9.973	10.174	10.379	10.588

1.4.7 TELEGESTÃO

O plano de modernização também deverá contar com o sistema de telegestão que deverá ser instalado juntamente com as luminárias previstas na modernização, priorizando as vias tipo V1, V2 e V3, totalizando 3.359 pontos relativos ao parque modernizado existente, e cerca de 5.692 incluindo os futuros pontos devido a remodelamento e crescimento vegetativo, seguindo o seguinte cronograma:

Tabela 9 - Cronograma de Implantação do Sistema de Telegestão

ANO	1	2	3	4	5
Hardware	3.738	760	81	83	85
Concentrador/Gateway	7	2	0	0	0

ANO	6	7	8	9	10
Hardware	86	88	90	92	93
Concentrador/Gateway	1	0	0	0	0

ANO	11	12	13	14	15
Hardware	95	97	99	101	103
Concentrador/Gateway	1	0	0	0	0

1.4.8 CENTRO DE CONTROLE OPERACIONAL (CCO)

A Operação da Rede de Iluminação no Centro de Controle Operacional – CCO se dará por meio de equipamentos, sistemas e equipes especializadas. A equipe de operação será responsável pelo monitoramento e controle do parque de iluminação, despacho de ocorrências para as equipes de campo, acompanhamento e fechamento de ocorrências.

A Sala de Operação deverá possuir postos de trabalho equipados com equipamentos de alta tecnologia, sistemas de gestão da Rede de Iluminação Pública e meios de comunicação que permitam a interação com as equipes de campo e os operadores do CCO.

1.4.9 CALL CENTER

Para o Centro de Controle Operacional - CCO está previsto um Call Center com funcionamento 24 horas por dia, 7 dias da semana, recebendo e efetuando ligações para os cidadãos.

1.4.9.1 TELEATENDIMENTO RECEPTIVO

Com relação ao atendimento das ligações recebidas, o sistema deve possuir as seguintes características técnicas mínimas:

- Resposta às demandas, com base em informações padronizadas, disponíveis na Central de Atendimento;
- Registro e encaminhamento de solicitações (tratadas pela central de atendimento), de pedidos de serviços/informações e de sugestões e reclamações, prestando os esclarecimentos previamente definidos pelo PODER CONCEDENTE;
- Retorno ao cidadão;
- Registro no sistema de atendimento das ocorrências que não tiverem soluções imediatas, cujas informações necessárias não estejam disponíveis no momento, ou onde o procedimento do PODER CONCEDENTE recomende o registro de ocorrência às áreas competentes para o tratamento e solução.

1.4.9.2 TELEATENDIMENTO ATIVO

Ligações realizadas pela CONCESSIONÁRIA, com a finalidade de:

- Responder ao cidadão;
- Questionamentos/reclamações/resposta de chamado ao serviço de iluminação pública do município de Palhoça;
- Demandas pendentes, decorrentes de dúvidas;
- Realizar Pesquisa de Satisfação sobre os serviços de iluminação pública ofertados pela Prefeitura da Cidade de Palhoça ou sobre o próprio serviço de teleatendimento;

- Divulgar os resultados das pesquisas realizadas.
- Operação e manutenção de seus ativos, envolvendo todos os possíveis serviços agregados, incluindo, sem limitação:
- Manutenção rotineira e periódica dos ativos;

1.4.10 SISTEMA CENTRAL DE GERENCIAMENTO

1.4.10.1 VISÃO GERAL

O Software Sistema Central de Gerenciamento deve ser constituído de um conjunto de programas destinados a controlar e gerenciar todas as atividades inerentes ao funcionamento do Sistema de Iluminação Pública do Município de Palhoça devendo o mesmo contemplar, no mínimo, as funções descritas nos subitens a seguir e possuir um protocolo de comunicação “aberto”, garantindo a integração de dispositivos e softwares de diferentes usos ou sistemas (semáforos, painéis de mensagens, câmeras de vídeo, redes de comunicação, dentre outros).

1.4.10.2 FUNCIONALIDADES

1.4.10.2.1 GESTÃO DO PATRIMÔNIO E CARTOGRAFIA

O Sistema Central de Gerenciamento deverá permitir o cadastro de todos os componentes ativos da Rede de Iluminação Pública do Município (luminárias, lâmpadas, reatores, transformadores, redes elétricas, postes, braços, etc). Além disso, deverá permitir o cadastro dos ativos inerentes aos sistemas de telegestão, incluindo as redes de comunicação, roteadores, e quaisquer equipamentos de domínios afins aos serviços prestados pela CONCESSIONÁRIA.

Todo o ativo cadastrado deverá ser georreferenciado em cartografia vetorizada.

No cadastro do ativo deverão constar as informações: (i) do Sistema Banco de Dados; (ii) do Sistema de Informações Geográficas (SIG); (iii) de imagens e documentos anexos.

1.4.10.2.2 GESTÃO DE PROJETOS

O Sistema Central de Gerenciamento deverá permitir a gestão de projetos relacionados às obras, atualização cadastral, melhorias e outros serviços prestados pela CONCESSIONÁRIA. Cada projeto deverá ter o detalhamento de suas atividades como a instalação de pontos, modificação e exclusão visualizados na cartografia do Sistema Central de Gerenciamento. Após a conclusão e validação do

projeto, as informações registradas deverão atualizar automaticamente a base de dados cadastral do Sistema Central de Gerenciamento.

1.4.10.2.3 GESTÃO DA MANUTENÇÃO E OPERAÇÃO

O software Sistema Central de Gerenciamento deverá ter alto desempenho, confiabilidade e transparência, dada a grande variedade de materiais e elevado número de intervenções operativas do parque de iluminação pública do Município.

Dispositivos móveis deverão ser utilizados pelas equipes operacionais de campo para visualizar informações referentes a cada ativo, relativas à manutenção executada (composição, endereço, histórico de cada ponto, dentre outras) e inserir as informações referentes à intervenção realizada (serviços executados, materiais instalados, duração da execução, interventores envolvidos, observação, dentre outras). As ordens de serviço de todas as modalidades (manutenção corretiva e preventiva e situações de emergência), bem como programação de rondas, deverão ser recebidas pelas equipes operacionais em campo.

Todas as ações realizadas na área deverão ser gravadas e armazenadas no banco de dados do software Sistema Central de Gerenciamento, gerando o registro histórico da manutenção de cada componente do ativo e o detalhamento de cada ordem de serviço.

O software Sistema Central de Gerenciamento deverá ser atualizado em relação ao cadastro dos ativos a partir das informações registradas pelas equipes operacionais de manutenção.

São informações principais a serem registradas:

- Equipes e a sua localização via GPS;
- Data e hora da realização de um serviço e sua respectiva duração;
- Serviços realizados e quantidade;
- Motivo da não realização de determinado serviço (se aplicável);
- Material utilizado e quantidade;
- Observações.

Referente a manutenção preventiva, deverá ser gerenciado pelo Sistema Central de Gerenciamento a substituição da lâmpada, inspeções elétricas e mecânicas, limpeza de luminárias, etc.

1.4.10.2.4 GESTÃO DA ENERGIA

O sistema deverá possibilitar comparações entre os consumos de energia elétrica estimado e medido (pela telegestão). O consumo de energia estimado deverá ser baseado nas potências das lâmpadas cadastradas no software Sistema Central de Gerenciamento, considerando as perdas dos reatores e o tempo de funcionamento previamente cadastrados para cada ponto luminoso. Para o cálculo, deverão ser considerados os ativos, tanto com medição quanto com estimativa do consumo, e expurgados os que estejam fora de serviço.

O consumo de energia elétrica, medido pela telegestão, deverá permanecer no banco de dados do software Sistema Central de Gerenciamento (módulo de telegestão).

1.4.10.2.5 GESTÃO DE USUÁRIOS

Cada operador deverá ter acesso ao software Sistema Central de Gerenciamento após autenticação do usuário e senha, garantindo um nível mínimo de segurança.

O perfil do usuário deverá ser configurando de acordo com:

- Regiões da Cidade;
- Domínios de aplicação (iluminação pública, vídeo monitoramento, etc);
- Atividades;
- Acesso aos relatórios.

1.4.10.2.6 SOLICITAÇÃO DE SERVIÇOS WEB

O Sistema de Central de Gerenciamento deverá disponibilizar um endereço de site e/ou aplicativo para que o cidadão possa contribuir, de forma gratuita, para melhoria do serviço de iluminação, podendo reclamar de um ponto luminoso com defeito por meio de smartphone e/ou tablet.

1.4.11 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA

Os serviços de gestão da operação e manutenção do sistema de iluminação pública de Palhoça deverão ser realizados observando o cumprimento do planejamento da manutenção e o controle de todas as intervenções realizadas, sejam corretivas ou preventivas, mantendo sempre atualizada a base do patrimônio por meio do Sistema Central de Gerenciamento - SCG. O objetivo principal do método descrito é atingir o nível de qualidade definido pelo Município de Palhoça.

1.4.11.1 GESTÃO PREVENTIVA E PREDITIVA

O modelo da Gestão de Manutenção do parque de iluminação pública da cidade de Palhoça deverá ser baseado na implantação de programas de gestão preventiva e preditiva. A Gestão Preventiva permitirá o acompanhamento do ciclo de vida do ponto luminoso e adequá-lo antes da incidência de falhas. A Gestão Preditiva possibilitará o melhor direcionamento da manutenção preventiva, permitindo antecipar ainda mais a adequação dos componentes do ponto, evitando a incidência de defeitos.

Para possibilitar a execução da gestão preventiva e preditiva do sistema de iluminação pública, o ciclo de vida de cada ponto luminoso deverá ser considerado como inicial o que será alcançado plenamente com a substituição completa dos pontos de luz. Isto significa que é necessário atualizar tecnologicamente todos os pontos luminosos de Palhoça. Este trabalho será feito no início da concessão, prevendo uma melhoria em todos os pontos de luz, com a substituição por novos equipamentos que possibilitem a eficiência de energia, o monitoramento e o controle da operação em tempo real. Isto deverá ser realizado na cidade de Palhoça seguindo um plano de investimento.

A partir do momento que os pontos de iluminação pública estiverem atualizados tecnologicamente, o Sistema Central de Gerenciamento - SCG deverá gerar as ordens de serviço de gestão preventiva e preditiva, para alcançar os mais elevados níveis de desempenho.

Além do objetivo descrito acima a aplicação da manutenção preventiva deverá garantir:

- Redução da taxa de falhas: redução do número de intervenções corretivas no parque, obtendo, assim, economia nos variados custos operacionais, melhorando o equilíbrio energético global do funcionamento do sistema de iluminação pública;
- Garantia do nível de iluminação: prevenção pela substituição de componentes, tendo em vista o tempo de vida útil dos equipamentos e a depreciação do fluxo luminoso. Com isso, estará garantido o cumprimento dos níveis de iluminação exigidos pela NBR 5101/2012, durante todo o contrato, otimizando o consumo de energia;
- Garantia da segurança das instalações e das pessoas: prevenção por meio de acompanhamento regular do estado e da qualidade de todos os equipamentos que compõem o sistema de iluminação, eliminando riscos mecânicos e elétricos.

1.4.11.2 GESTÃO DA MANUTENÇÃO CORRETIVA

A CONCESSIONÁRIA deverá implantar, desde o início da execução do contrato, Programa de Manutenção Corretiva para atender a três objetivos principais:

- Garantir o menor tempo de resposta;
- Garantir um elevado grau de informação, mediante a implantação do Centro de Controle Operacional – CCO, com Call Center, que deverá dispor de informações de todos os incidentes em andamento e intervenções previstas, em execução e executadas, de modo a prestar esclarecimentos à população. Esta comunicação com o público deverá ser um dos principais vetores de qualidade percebida pela população;
- Permitir que o Município realize monitoramento das atividades de operação e manutenção, utilizando acesso livre ao software Sistema Central de Gerenciamento - SCG.

A CONCESSIONÁRIA deverá realizar gestão informatizada abrangente da manutenção corretiva, utilizando como ferramenta o software Sistema Central de Gerenciamento - SCG, objetivando permitir o fluxo constante e instantâneo das informações, a melhor qualificação das falhas e a adequação dos recursos aos serviços a serem realizados. Este software, também, deverá garantir monitoramento preciso e constante de operações, bem como indicadores de alimentação automática e construção de relatórios com maior eficiência e transparência.

1.4.11.3 RONDAS DIURNAS E NOTURNAS

Nas áreas do Município de Palhoça ainda não beneficiadas pela atualização tecnológica deverá ser utilizado o procedimento de rondas diurnas e noturnas para detecção das falhas no sistema de iluminação pública.

As rondas deverão ser realizadas pelas equipes operacionais durante o turno de trabalho. Todas as equipes deverão ser equipadas com tablets ou smartphones, munidos do módulo embarcado do Sistema Central de Gerenciamento - SCG. Ao encontrar um ponto de iluminação acesso durante o dia ou apagado durante a noite, a equipe deverá incluir a ocorrência encontrada no sistema pelo dispositivo móvel que, automaticamente, atualizará a base de dados do software Sistema Central de Gerenciamento.

1.4.11.4 MANUTENÇÃO DO CADASTRO

A manutenção do cadastro deve ser realizada diariamente, durante todo o período do contrato, à medida que os pontos de iluminação pública sofram intervenções. Durante a realização dos serviços, caso haja substituições de equipamentos, todas as novas informações do ponto devem ser atualizadas em tempo real no banco de dados do software Sistema Central de Gerenciamento - SCG.

1.4.11.5 TRATAMENTO DE ESTOQUE E MATERIAIS RETIRADOS DE CAMPO

O software Sistema Central de Gerenciamento - SCG deverá conter um módulo destinado ao gerenciamento de materiais com capacidade para assegurar o controle de habilitação de fornecedores e a entrada e saída de bens novos e inservíveis, objetivando o controle patrimonial por parte do Município, que poderá a qualquer tempo fiscalizar o cumprimento da legislação pertinente.

1.4.11.6 GESTÃO DE MATERIAIS SALVADOS E INSERVÍVEIS

Por meio do módulo de gestão de materiais do software Sistema Central de Gerenciamento – SCG deverão ser computados e relacionados os materiais retirados da rede de iluminação pública. A CONCESSIONÁRIA deverá realizar um controle rígido destes materiais, já que os mesmos poderão ser revendidos e convertidos como uma receita adicional ao contrato.

1.4.11.7 DESCARTE DE LÂMPADAS

Para o descarte das lâmpadas especificamente, deverá ser mantido rígido controle sobre processo de seleção e certificação de empresa especializada no processo de descontaminação e descarte. Este resíduo que é classificado como CLASSE I perante os órgãos ambientais (resíduo perigoso) possui extenso procedimento interno que garante o seu descarte dentro das exigências legais, eliminando riscos de qualquer acidente ambiental.

O processo de descarte de lâmpada deverá ser monitorado e acompanhado, desde a sua retirada do parque de iluminação pública, manuseio, armazenamento, transporte por empresa especializada, descontaminação e descarte final. A conclusão do processo se dará através de emissão de certificado de descontaminação e destinação do resíduo que será repassado ao Município a cada remessa descontaminada por empresa especializada.

Estes serviços deverão seguir as Diretrizes Ambientais descritas na seção V E deste documento. Deverão ser atendidos, ainda, os requisitos da norma NBR ISO 14001:2007.

1.4.11.8 GESTÃO DA MANUTENÇÃO DOS PONTOS DE ILUMINAÇÃO ARTÍSTICA

A CONCESSIONÁRIA deverá implantar, desde o início da execução do contrato, Programa de Manutenção dos pontos de Iluminação Artística do Parque de iluminação Pública para garantir a identidade visual proposta para os monumentos do Município.

Os serviços de manutenção dos pontos de iluminação artística terão um prazo de atendimento conforme tabela abaixo. Como neste tipo de ação, as características dos equipamentos e instalações podem diferir dos utilizados nos pontos de iluminação pública viária existe a possibilidade de extensão do prazo de conclusão dos serviços.

Todos os serviços serão remunerados mensalmente através de uma contraprestação mensal, sujeita a redução devido ao desempenho da Concessionária, oriunda da Conta Garantia onde a Contribuição de Iluminação Pública é depositada.

1.5. BENEFÍCIOS

Em uma PPP, em que o parceiro privado assumirá a operação e manutenção da Iluminação Pública baseado em um sistema de metas de desempenho, a gestão eficaz da infraestrutura pode trazer grandes benefícios para o município e seus cidadãos, tais como:

1. Elevação no nível do serviço prestado:

- a. Aumento da agilidade na solução de problemas relacionados à infraestrutura de Iluminação Pública;
- b. Adequação do parque de iluminação para cumprir com os padrões de luminescência e uniformidade mínimos estabelecidos.

2. Elevação na eficiência energética:

- a. Redução dos custos de IP;
- b. Tecnologia mais durável e eficiente do ponto de vista energético;
- c. Melhor aproveitamento dos recursos energéticos.

3. Melhoria na Iluminação Pública do município:

- a. Impacto na segurança pública devido à melhoria nos níveis de luminosidade das vias urbanas;
- b. Redução dos índices de acidentes de trânsito;

- c. Elevação na qualidade de vida dos habitantes e turistas que visitam a cidade.

4. Políticas Públicas e Socioambientais:

- a. Garantia de atendimento adequado ao cidadão;
- b. Melhoraria na qualidade de vida;
- c. Maior sustentabilidade ambiental;
- d. Balanceamento das prioridades sociais e financeiras.

5. Econômicos:

- a. Maior velocidade de entrega da infraestrutura;
- b. Aumento da cobertura de serviço e melhorar qualidade;
- c. Redução no prazo de investimento e custo do projeto;
- d. Melhoraria da eficiência na execução do projeto;
- e. Atração de capital internacional e doméstico.

6. Tecnológicos:

- a. Possibilidade de transferência de tecnologia;
- b. Treinamento de recursos em tecnologia avançada de operação / manutenção de vias;
- c. Inovação tecnológica.

7. Fiscais:

- a. Disponibilidade maior de capital público para outros usos;
- b. Redução do risco do setor público;
- c. Redução dos custos do ciclo de vida dos projetos.

8. Estratégicos:

- a. Redefinição do papel da Prefeitura em projetos específicos;
- b. Aumento da transparência dos processos da Prefeitura;
- c. Garantia da qualidade dos serviços prestados por meio de indicadores de desempenho.

2 PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO

Definir os rumos do projeto, usando ferramentas analíticas tais como: matriz SWOT, Matriz 5 forças de Porter, etc.

2.1 DESCRIÇÃO DO MERCADO

A Resolução Normativa nº 414/2010 da ANEEL, de 9 de setembro de 2010, em seu artigo 218, amparado na determinação constitucional, define que as distribuidoras de energia elétrica devem transferir os ativos de iluminação pública (luminárias, lâmpadas, relés e reatores) às prefeituras até 31/12/2014.

Segundo informações da ANEEL, dos 5.564 municípios brasileiros, 3.755 assumiram os ativos, ou seja, ainda faltam 1.809 – 32,51% do total – assumirem tal responsabilidade. Os estados mais críticos são Minas Gerais, São Paulo, Pernambuco e Ceará, sendo que, em MG, dos 853 municípios, apenas 19 estão com os ativos municipalizados; em SP apenas 129 dos 645; em PE apenas 7 dos 185 e, no Ceará, apenas um dos 184 municípios daquele Estado. Além disso, existem municípios nos estados do Amapá, Paraná e Roraima que não estão com os ativos de Iluminação Pública (IP).

É importante salientar que antes de transferir os ativos de IP aos municípios, as distribuidoras de energia elétrica devem verificar e corrigir possíveis falhas e substituir os equipamentos danificados, para que o sistema de IP seja entregue em perfeito estado de funcionamento. É um direito do Poder Público Municipal e um dever das distribuidoras locais.

Segundo a ANEEL, mesmo que os prefeitos não realizem os procedimentos necessários para a transferência até a data estabelecida, a responsabilidade deixará de ser da distribuidora de energia a partir do dia 1º de janeiro de 2015.

Com a transferência dos ativos de iluminação pública, a ANEEL busca atender a Constituição Federal (CF) de 1988, que define que a iluminação pública é de responsabilidade do município, possibilitando a instituição da Contribuição para Iluminação Pública (COSIP), que por sua vez, pode ser arrecadada por meio da fatura de energia elétrica. No entanto, a criação da COSIP é facultada aos municípios. Para os municípios que possuem ou que não vão criar a COSIP por uma decisão local, há a opção de arrecadar os recursos por meio do Imposto Predial e Territorial Urbano (IPTU) para custear a Iluminação Pública da cidade.

Atualmente muitos municípios ainda estão em processo de formulação da COSIP, porém a grande maioria já arrecada esse tipo de recurso. Dados de uma pesquisa do Banco Mundial (2015), mostra que no Brasil, mais de 80% dos municípios já arrecadam COSIP.

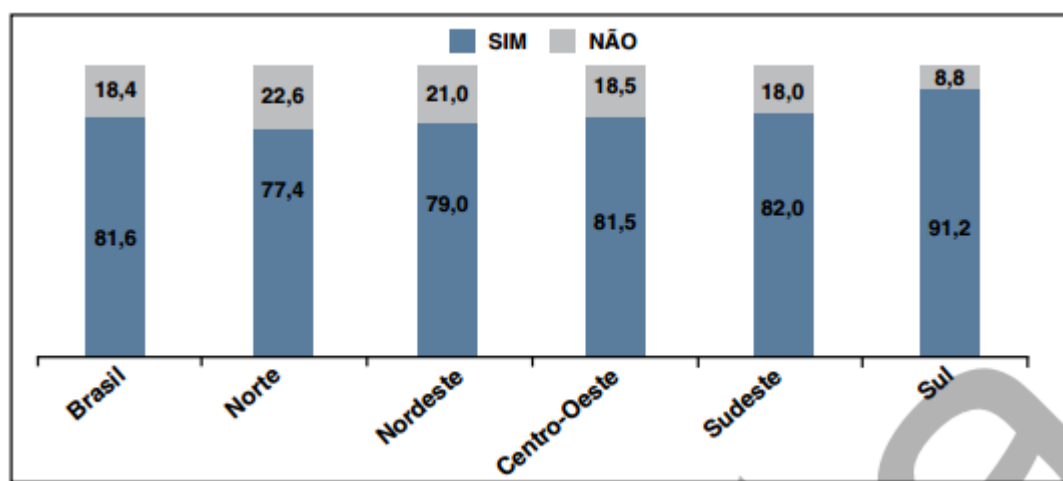


Figura 1 - % de municípios que arrecadam COSIP

A transferência da responsabilidade da iluminação para as prefeituras acabou também as tirando de uma zona de conforto, estimulando-as a repensar as políticas públicas de iluminação e a criar modelos de negócio que incentive a competitividade.

Por ser um serviço público e está ligado diretamente a qualidade de vida população local, a busca pela PPP neste setor aumentou de maneira considerável, fazendo com que em 2016, o segmento de iluminação pública fosse dominante dentre os outros segmentos de PPP no Brasil. Segundo a RADAR PPP, empresa especializada em PPPs e concessões, apenas em 2016 foram assinados 7 contratos de iluminação pública. Além disso, 62% dos editais de PPP publicados no Brasil são do segmento de iluminação pública.

Em outro relatório publicado pelo RADAR PPP em 2015 foi um ano com 389 oportunidades de PPP, onde as mesmas foram divididas em 29 segmentos. O segmento de IP aparece como de maior representatividade, conforme gráfico abaixo:

Projetos por Segmentos

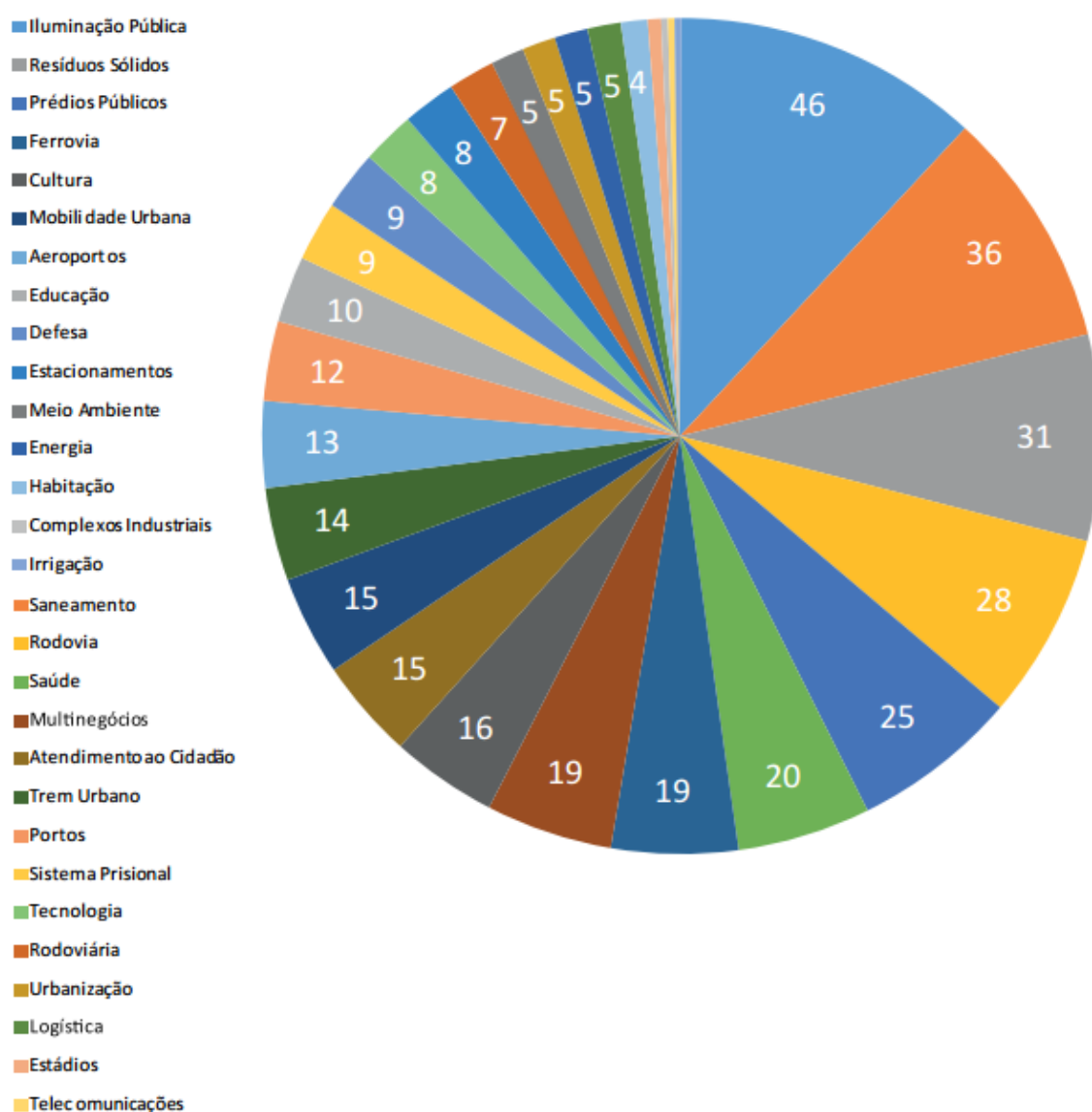


Figura 2 - PPPs por segmento

Podemos constatar que o aumento da tarifa de energia de iluminação pública (Tarifa B4a) foi substancial no ano de 2015, o que acarretou em uma maior busca por contratos de concessões que viabilizem a implementação de tecnologias com maior potencial de redução no custo de energia. Segundo a ANEEL, a tarifa de energia saltou 38,8% apenas de 2014 para 2015, mesmo após um crescimento de 10,9% no ano anterior.

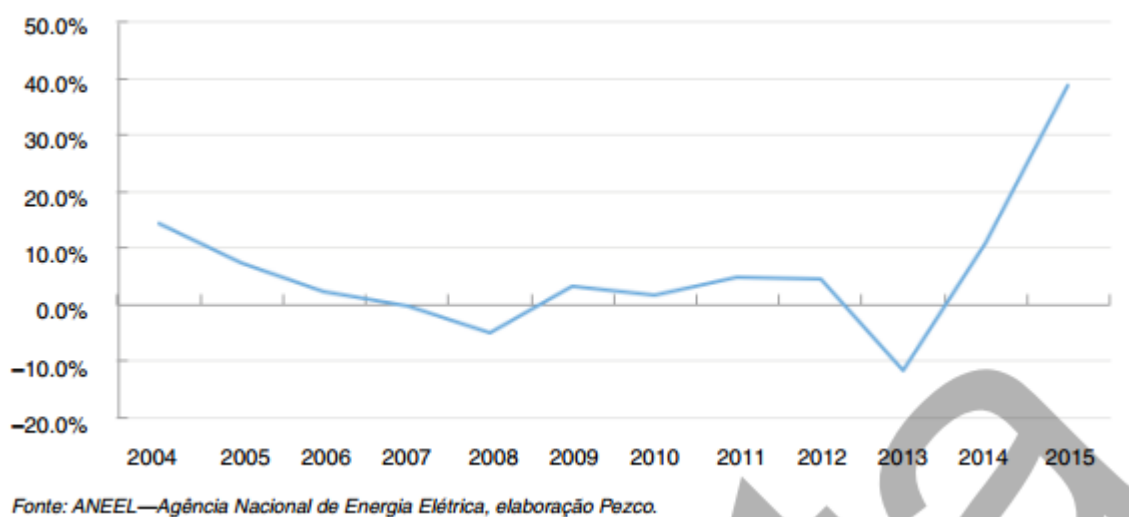


Figura 3 - Crescimento da tarifa B4a

2.2 CLIENTES

O serviço de iluminação pública, por mais que seja contratado pela prefeitura, é cobrado pelos cidadãos, os quais contribuem para o pagamento do serviço através da COSIP. Logo é um serviço que deverá agradar a população, pois são os habitantes do município que irão gozar da atratividade e segurança promovida pela boa qualidade da iluminação pública. Sendo assim, não há como negar que a opinião pública tem influência substancial sobre o serviço.

Além disso, por ser interesse dos prefeitos a boa visibilidade junto à população local, faz-se necessário que este busque sempre um serviço mais eficiente e de qualidade.

Assim, apesar de as prefeituras serem as contratantes, o cliente final é a população, que exigirão acima de tudo uma iluminação pública de qualidade, visto que é um item que está associado diretamente à segurança e qualidade de vida.

O ponto negativo de ter a prefeitura como contratante é a sua capacidade de pagamento, onde muitas vezes a sua maior fonte de recurso para pagamento do serviço (COSIP) é insuficiente para pagar os custos relativos à iluminação pública. Segundo uma pesquisa feita pelo Banco Mundial, 44,1% dos municípios do Brasil não tem recurso COSIP suficiente para pagar seus custos com iluminação pública, conforme gráfico na figura abaixo:

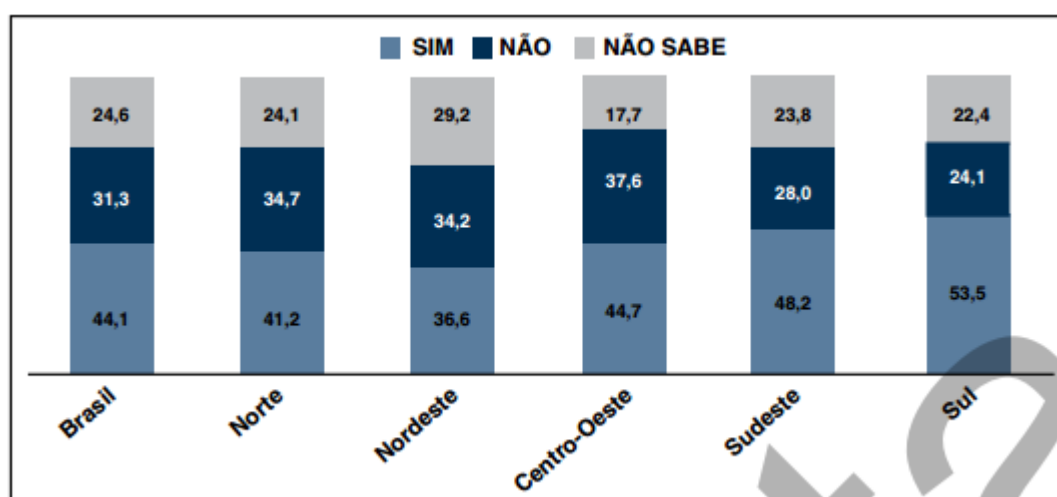


Figura 4 - Capacidade da COSIP dos Municípios (Banco Mundial)

Porém, com o elevado crescimento das PPP's, e o aumento do conhecimento em relação aos benefícios da tecnologia LED, grande parte dos municípios já estão em processo de reformulação da COSIP com o objetivo de aumentar a sua capacidade de pagamento. Segundo uma pesquisa do Grupo Banco Mundial em maio de 2015, 84,1% dos municípios do Brasil já tem conhecimento sobre os benefícios que a tecnologia trará LED a sua população e aos cofres públicos caso seja implementado.

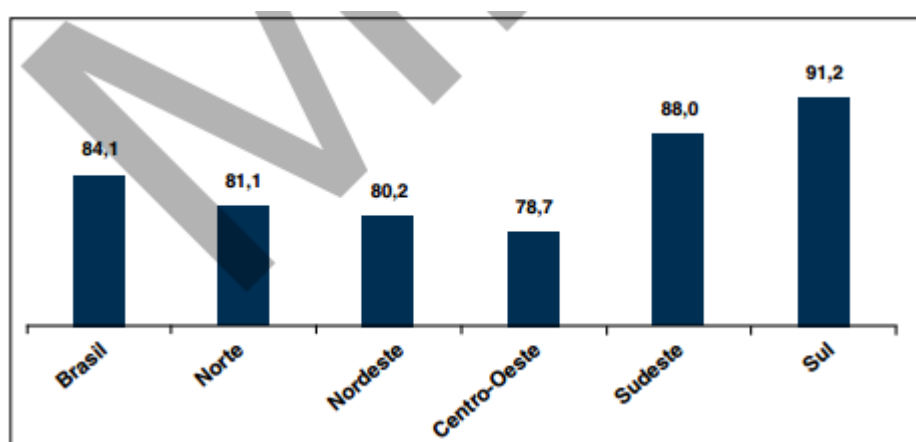


Figura 5 - Porcentagem dos municípios que têm conhecimento sobre o LED (Banco Mundial)

2.3 PROJEÇÕES DE INVESTIMENTOS

Baseando-se nos dados supracitados, é provável que os investimentos em PPPs do segmento de iluminação pública tendam a aumentar. Com o aumento da tarifa de energia, a preocupação com a sustentabilidade e o aumento do conhecimento dos municípios em relação as tecnologias LED, a tendência é que nos próximos anos o Brasil já tenha a maioria de sua iluminação pública modernizada através de PPP's e Concessões. Segundo o BNDES (2016), a projeção é que nos próximos 15 anos

haverá um investimento estimado em R\$ 26,3 bilhões para a modernização de 80% da iluminação pública do país.

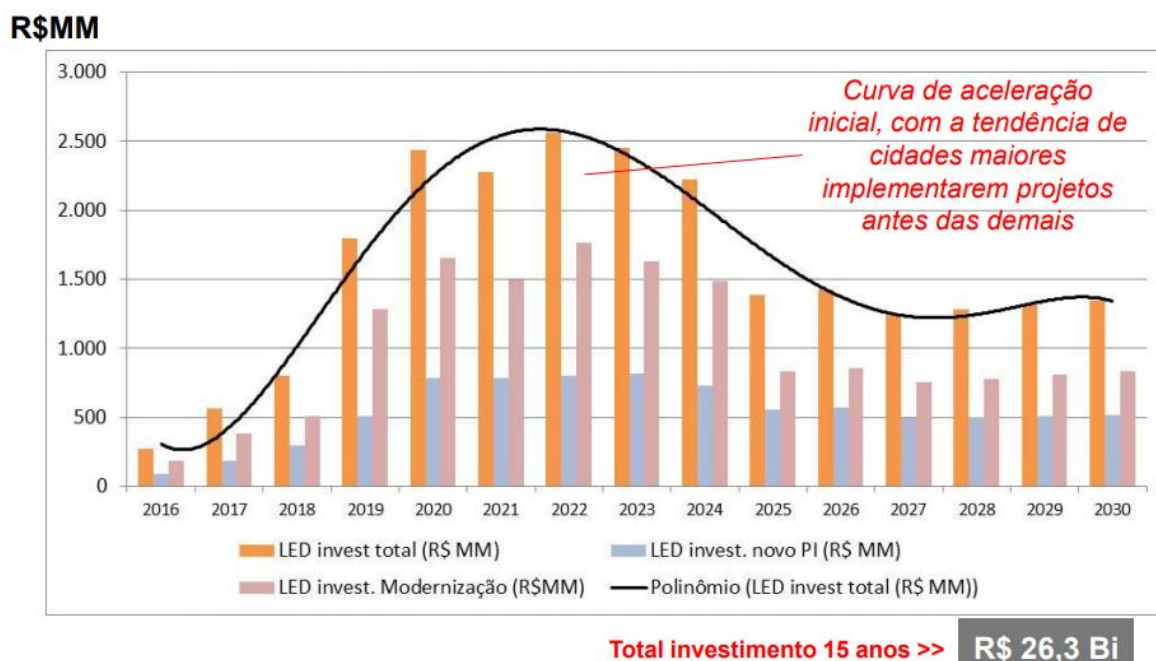


Figura 6 - Projeção de Investimento em LED nos próximos 15 anos (BNDES)

Anteriormente havia certa dificuldade por parte do setor privado para financiar equipamentos LED de alta potência, o que dificultava o investimento inicial, principalmente em cidades de grande porte. Porém no cenário atual de PPP's já existem diversas soluções de financiamento, principalmente do BNDES, além do considerável crescimento de fabricantes nacionais de equipamentos de iluminação pública aptos a vender suas tecnologias através de linhas de financiamento.

2.1 PRINCIPAIS CONCORRENTES

- Empresas de engenharia especializados em serviços de iluminação pública (FM Rodrigues, Uberluz, Engelluz, etc.), que possuem a estratégia de menor preço, frente a qualidade dos serviços prestados;
- Fornecedores de luminárias LED (GE, Philips, UNICOB, Schreder, REPUME, etc.), que podem não apenas atuarem como fornecedores, mas também como gestores do projeto;
- Empresas de engenharia de grande porte de outras áreas como a construção civil (Odebrecht, Andrade Gutierrez, OAS, etc.) que podem atuar como gestores dos projetos ou como grandes investidores.

- Investidores diversos (Grande Fundos de Investidores, Investidores Individuais, etc.), que visam uma parceria com empresas especializadas no setor, investindo o capital necessário ao projeto.

2.2ANÁLISE SWOT

A Análise SWOT, sigla no idioma inglês para Forças (*Strengths*), Fraquezas (*Weaknesses*), Oportunidades (*Opportunities*) e Ameaças (*Threats*), é uma ferramenta da administração, fundamentalmente utilizada na análise do ambiente interno e externo, com a finalidade de formulação de estratégias da empresa.

Segundo Charnov (2005) e Oliveira (2004), a aplicação se divide em ambiente interno (Forças e Fraquezas) e ambiente externo (Oportunidades e Ameaças). As forças e fraquezas são avaliadas pela observação da situação atual da organização, em geral avaliadas, a fatores internos. Os pontos fracos pela construção em uma organização, em seus recursos humanos incluem os recursos por experiência, capacidade, conhecimentos e habilidades, já os recursos organizacionais são sistemas e processos da empresa como estratégias, estrutura, cultura e outros, e os recursos físicos, que são as instalações, equipamentos, tecnologia, canais e outros.

Diante do conhecimento dos pontos fortes ou fracos, e das oportunidades e ameaças a organização, esta pode adotar estratégias que visem buscar sua sobrevivência, manutenção ou seu desenvolvimento. Sendo assim, foram identificados os seguintes fatores:

- **Forças:**
 - O Projeto visa uma tendência mundial em relação a modernização do parque de iluminação pública para luminárias LED;
 - Reduzir os custos a longo prazo;
 - Longa duração do projeto, 15 anos, em detrimento a projetos convencionais de até 5 anos, resultando em uma maior segurança e estabilidade;
 - Parcerias com grandes empresas de prestação e serviços e fornecedores;
- **Fraquezas:**
 - O projeto possui um elevado valor de investimento inicial frente aos demais serviços substitutos;
 - Dificuldade de agregar mais inovações tecnologias além das luminárias LED.

- **Oportunidade:**

- Devido ao alto custo da energia elétrica no Brasil, muitas cidades necessitam de mais eficiência no sistema de iluminação pública e a melhor forma é aplicar a tecnologia LED para reduzir o consumo de energia elétrica;
- O projeto tem grande credibilidade no mercado, tanto com os clientes quanto com os fornecedores;
- Melhorar os serviços prestados à população, que exigem um alto fluxo luminoso, tornando-se viável apenas com a instalação de luminárias LED;
- Subsidiar a inovação tecnológica no Brasil, com o desenvolvimento de luminárias LED's nacionais, além de softwares e sistemas de gestão;

- **Ameaças:**

- A crise econômica e política no Brasil está dificultando o desenvolvimento de projetos de longo prazo, principalmente pelas altas taxas de juros aplicada pelos mercados;
- A maioria das licitações no Brasil são realizadas pela modalidade de menor preço. Esta modalidade permite que empresas sem capacitação técnica apresentem preços muito baixos para ganhar a licitação;
- Grande dependência do projeto com o fornecedor de luminárias LED;
- Devido ao grande porte do projeto, reduz a quantidade de competidores, restringindo a empresas de médio e grande porte, e assim não culminando em uma briga por menor preço como os projetos convencionais;
- A vulnerabilidade do projeto com relação a política local do município;
- A necessidade de um grande aporte de capital no projeto devido os altos investimentos.

2.1 ANÁLISE DE CINCO FORÇAS DE PORTER

O Modelo das Cinco Forças de Porter faz uma análise competitiva na qual é utilizada com objetivo de compreender o desenvolvimento de estratégias em muitas organizações. Este modelo de estratégia apresenta para as organizações da intensidade de competição entre estas organizações, sendo maior entre indústrias de baixo retorno, segundo DAVID (1998).

A Figura 01 apresenta como uma organização pode ser visualizada como um conjunto destas cinco forças, sendo: a rivalidade entre as organizações competidoras, e entrada do potencial de novos competidores, a entrada de novos competidores, o desenvolvimento do potencial de produtos substitutos, o poder de negociação dos fornecedores e por último, o poder de negociação dos consumidores, conforme DAVID (1988).

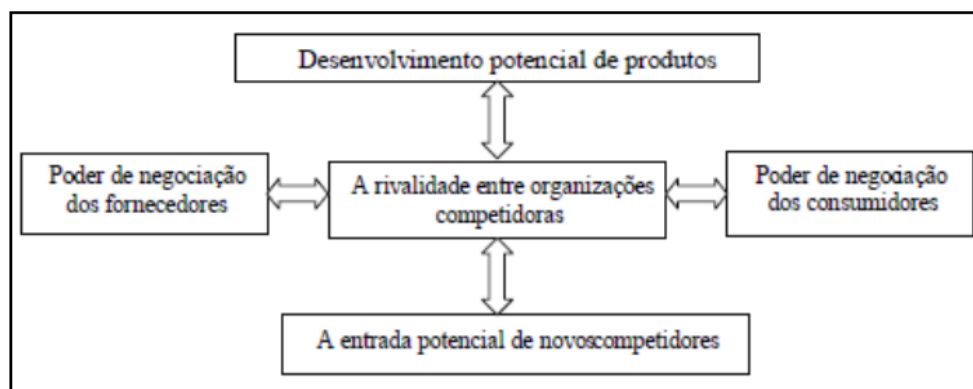


Figura 7 - As Cinco Forças de Porter

Assim, foi identificado o nível de rivalidade do setor, observando fatores como:

1) Barreira (dificuldades de acesso) à entrantes (novos concorrentes) em seu mercado:

- Necessidade de ser uma empresa de engenharia especializada em serviços de iluminação pública, necessitando de comprovação através de atestados técnicos de prestação de serviços similares (dificuldade baixo);
- A empresa deverá ter Capital Social compatível com o objeto do contrato, cerca de 10% do valor global do contrato, assim, impedindo as empresas de pequeno e médio porte de participarem (dificuldade média).

2) Poder de barganha (grau de concentração) dos fornecedores:

- Fornecedores de luminárias LED possuem um imenso e determinante poder de barganha em relação ao projeto, pois é o principal investimento a ser realizado (grau alto de concentração).

3) Poder de barganha (grau de concentração) dos clientes:

- O cliente principal é a Prefeitura Municipal de Palhoça/SC, que possui um alto poder de negociação, já que apesar da limitação de novos entrantes em relação ao Capital Social,

a competitividade continua elevada no setor, diminuindo assim as margens obtidas e os preços oferecidos (grau alto de concentração).

4) Produtos/serviços substitutos (ou soluções alternativas) aos fornecidos pela empresa.

- Gestão convencional do parque de iluminação pública, sem investimentos de luminárias LED, reduzindo drasticamente o valor global do contrato (alta competitividade).

3 ANÁLISE DE PROJETOS DE INVESTIMENTOS

Nesta seção apresentaremos a análise de viabilidade econômica do projeto de investimentos da Modernização do Parque de Iluminação Pública de Palhoça/SC, avaliando suas receitas, custos, despesas, investimentos, além dos resultados econômicos e financeiros obtidos.

3.1 DESCRIÇÃO DA OPORTUNIDADE DE INVESTIMENTO

Segundo estudos realizados a respeito da iluminação pública de Palhoça, a cidade possui uma potência instalada de lâmpadas de 5.029 kW.

Adicionalmente, as lâmpadas utilizadas no sistema de iluminação pública da cidade são de sódio, mercúrio, metálico e outros componentes, com percentual de distribuição conforme ilustrado na tabela a seguir:

Tabela 3 - Parque de Iluminação Pública de Palhoça/SC

TIPO	QTDE	%
LED	25	0,11%
Metálico	5960	26,34%
Sódio	16.033,00	70,86%
Outras	609	2,69%
Total	22.627,00	100,00%

Os recursos necessários para manter o serviço de Iluminação Pública no Município de Palhoça provêm da Contribuição de Iluminação Pública (COSIP), cobrada através da concessionária de energia dos usuários.

Assim, o projeto prevê que todos os pontos de luz da rede atual de iluminação pública de Palhoça serão substituídos pela tecnologia LED ou superior durante os primeiros 2 anos de Concessão, visando

assim uma economia nos custos com a energia elétrica devido a iluminação superior a 50% durante os 15 anos de duração do projeto.

No intuito de aprimorar a rede de iluminação da cidade, além das substituições dos pontos luminosos, a Concessionária realizará investimento de infraestrutura, e a construção de um Centro de Controle Operacional – CCO.

O CCO está instalado dentro da estrutura operacional da Concessionária e projetado para funcionar 24 (vinte e quatro) horas por dia, 7 (sete) dias por semana. O CCO visa para garantir o atendimento a chamados de manutenção do sistema de iluminação pública de todo o município. A unidade operacional deverá ser estrategicamente posicionada de modo que possa atender de forma rápida e eficaz.

A Concessionária poderá também explorar Receitas Acessórias, com a finalidade de melhorar a viabilidade econômica de todo o empreendimento. No caso de haver ganhos com Receitas Acessórias, parte dela deve ser compartilhada com o Poder Público.

3.2 PREMISSAS DO PROJETO

3.2.1 RECEITAS

Para o cálculo das receitas da Concessionária, foi considerada uma Contraprestação Máxima cujos valores base seguem os constantes na Tabela 11, apenas sofrendo reajustes anuais em relação a inflação.

Tabela 11 - Receitas

MÊS	CONTRAPRESTAÇÃO MENSAL MÁXIMA	CONTRAPRESTAÇÃO ANUAL MÁXIMA
01 - 12	R\$ 1.315.540,05	R\$ 15.786.480,58
13 - 24	R\$ 1.519.960,62	R\$ 18.239.527,43
25 - 36	R\$ 1.256.357,82	R\$ 15.076.293,84
37 - 48	R\$ 1.256.357,82	R\$ 15.076.293,84
49 - 60	R\$ 1.256.357,82	R\$ 15.076.293,84
61 - 72	R\$ 1.256.357,82	R\$ 15.076.293,84
73 - 84	R\$ 1.256.357,82	R\$ 15.076.293,84
85 - 96	R\$ 1.256.357,82	R\$ 15.076.293,84
97 - 108	R\$ 1.256.357,82	R\$ 15.076.293,84
109 - 120	R\$ 1.256.357,82	R\$ 15.076.293,84
121 - 132	R\$ 1.256.357,82	R\$ 15.076.293,84
133 - 144	R\$ 1.256.357,82	R\$ 15.076.293,84
145 - 156	R\$ 1.256.357,82	R\$ 15.076.293,84
157 - 168	R\$ 1.256.357,82	R\$ 15.076.293,84
169 - 180	R\$ 1.256.357,82	R\$ 15.076.293,84
TOTAL		R\$ 230.017.827,90

3.2.2 TRIBUTOS

O estudo está considerando a tributação de Imposto de Renda com base no Lucro Real. As alíquotas do IRPJ (Imposto de Renda Pessoa Jurídica) e CSLL (Contribuição Social Sobre o Lucro Líquido) serão de:

Tabela 12 – Impostos

Tributos	Lucro Real
ISS	3,00%
PIS	7,60%
COFINS	165%
IR	25,00%
CS	9,00%

Os impostos que incidem sobre as receitas são: PIS (Programa de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público) e COFINS (Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social).

Para o cálculo dos montantes de impostos sobre a receita, o estudo considerou o crédito tributário referente à PIS e COFINS.

3.1.1 INVESTIMENTOS

Os investimentos necessários no sistema de iluminação pública de Palhoça estão apresentados no **ANEXO VII – INVESTIMENTOS DE CAPITAL**.

O montante estimado para os 2 primeiros anos é de cerca de R\$ 49 milhões. Os gastos com obras para remodelamento do sistema de iluminação e instalação de luminárias LED estão refletidos na linha de Modernização. Estes gastos representam ao longo da concessão 63% de todo o investimento no projeto.

Os gastos com telegestão referem-se aos gastos com essa tecnologia e referem-se a hardware e software, durante todo o contrato, considerando-se os pontos novos.

O remodelamento são os gastos com a adequação de pontos existentes os quais não apresentam níveis de iluminância e uniformidade de acordo com o especificado pela NBR 5101 (2012).

Os gastos com Iluminação Artística Especial (IA Especial) são referentes às obras e materiais com obras de embelezamento da cidade Palhoça. Esse investimento está projetado para o mesmo período de investimento das vias.

Durante todo o contrato haverá investimentos com Melhoria de Rede no intuito de aprimorar a infraestrutura da iluminação pública de Palhoça.

Os custos estimados em CCO são referentes à instalação do Centro de Controle Operacional, isto é, aquisição e instalação de infraestrutura de operações e data-center, softwares, mobiliários e equipamentos em geral para a unidade.

Além dos citados acima, destaca-se também na tabela os investimentos com furtos de cabo e abalroamento, material de manutenção, veículos e estrutura em geral.

3.1.2 CAPITAL INVESTIDO

Outra avaliação pertinente ao projeto é a composição dos seus capitais investidos (**ANEXO IV – CAPITAL INVESTIDO**), onde pode-se visualizar o Capital Investido Operacional, subdivido no Capital de Giro e Permanente, além da avaliação sobre a fonte do Capital, podendo ser de Terceiros ou Próprio.

3.1.3 CUSTO MÉDIO DO CAPITAL (WACC)

Para a determinação do custo médio ponderado de capital, o chamado WACC, considerou-se como a taxa de remuneração livre de risco, em termos reais, a NTN-B de 6,02% com vencimento em 15/08/2024. Já o prêmio pelo risco de mercado de 6,25% foi extraído das bases internacionais da Universidade de Nova York em Junho/2016 juntamente com o Beta desalavancado de 1,03.

Os custos totais das dívidas do projeto são de 9,53% a.a. para o financiamento de produtos nacionais e de 12,43% a.a. para produtos internacionais. Estimando-se ainda que o custo de capital próprio da empresa varie de 9,62% a 14,15% a.a., dependendo da alavancagem financeira apresentada em cada ano, resultando em um WACC global do projeto de 11,74% ao ano.

3.1.4 CUSTOS OPERACIONAIS

Foram considerados os custos relacionados à operação da Concessão conforme detalhados (**ANEXO VI – CUSTOS OPERACIONAIS**) a seguir:

Os custos relacionados ao Pessoal são todos os salários, encargos e benefícios atrelados aos profissionais que serão contratados pela SPE. Os custos com veículos referem-se à manutenção e combustível gastos pelos veículos da Concessionária. Os gastos com estrutura incluem aluguel, energia, custos administrativos e viagens da SPE.

Contemplam-se também na tabela acima os custos com Subcontratação e Serviços. Este item refere-se às despesas com auditoria, serviços contábeis, advocatícios, descontaminação de lâmpadas, operação e manutenção, dentre outros.

Durante o contrato os materiais de manutenção para os equipamentos de telegestão estão demonstrados no item Rede de Telegestão.

Os pagamentos de seguros diversos (Risco de Engenharia, Responsabilidade Civil) e de garantias de execução (construção e operação) estão refletidos na linha Seguros e garantias.

3.2 PROJEÇÕES DOS FLUXOS DE CAIXA

3.2.1 DEMONSTRAÇÕES DE RESULTADO DOS EXERCÍCIOS (DRE'S)

Segundo Santos (2011), a demonstração do resultado do exercício destina-se a evidenciar a formação do resultado do exercício, mediante confronto das receitas e ganhos com as despesas e perdas incorridos no exercício.

Essa demonstração deve ser apresentada na posição vertical, e discriminados seus componentes de forma ordenada, de maneira tal que fique evidenciado o resultado operacional, o resultado antes do Imposto de Rende e Contribuição Social, o resultado antes das participações e o lucro líquido do exercício da entidade, e regido pelas normas brasileiras do CPC, constantes nos itens 81 ao 105 do pronunciamento técnico 26.

Assim, para auxiliar a análise de viabilidade do projeto, o **ANEXO I - DEMONSTRATIVOS DE RESULTADOS DOS EXERCÍCIO (DRE'S)** apresenta todos os DRE's de todos os exercícios no período do projeto.

3.2.2 BALANÇOS PATRIMONIAIS (BP'S)

Diferentemente das DRE's, o Balanço Patrimonial, de acordo com Santos (2011), é uma demonstração com a finalidade de evidenciar, de forma qualitativa e quantitativa, a situação patrimonial e financeira da empresa e dos atos registrados na escrituração contábil. Essa demonstração deve ser estruturada de acordo com os preceitos da Lei das Sociedades por Ações e segundo o Princípios Fundamentais da Contabilidade, e deve seguir as normas técnicas especificadas nos itens 54 a 80 do pronunciamento técnico CPC 26.

Com o intuito de avaliar adequadamente a viabilidade do projeto, o **ANEXO II – BALANÇOS PATRIMONIAIS (BP'S)** apresenta todos os BP's de todos os exercícios no período do projeto.

3.2.3 FLUXO DE CAIXA

Concomitantemente foi desenvolvido a projeção do Fluxo de Caixa do Projeto (**ANEXO III – DEMONSTRAÇÕES DE FLUXOS DE CAIXAS**), que possui o objetivo de proporcionar aos usuários das demonstrações contábeis uma base para avaliar a capacidade de a entidade gerar caixa e equivalentes de caixa, bem como da época e do grau de segurança de geração de tais recursos. (Santos 2011)

3.3 ANÁLISE DE VIABILIDADE

Para avaliar a atratividade do projeto foi utilizada diferentes metodologias de análise financeiras, entre elas:

1. *Payback*;
2. Taxa Interna de Retorno;
3. Valor Presente Líquido;
4. Índice de cobertura do serviço da dívida;
5. Alavancagem;
6. Exposição máxima;
7. *Value for Money*;
8. Outros índices econômico-financeiros.

3.3.1 PAYBACK

O período de *payback*, um dos mais utilizados critérios para se avaliar um investimento, é, segundo Sanvicente (1990), definido como sendo aquele número de anos ou meses, dependendo da escala utilizada, necessária para que o desembolso correspondente ao investimento inicial seja recuperado, ou ainda, igualado e superado pelas entradas líquidas acumuladas.

Quando um investidor está preocupado em saber quando vai ter o seu capital investido de volta, o melhor critério é *payback*, pois apesar de ser um critério muito simples e que apresenta alguns pontos “fracos”, acaba atraindo o administrador devido sua facilidade no cálculo e a segurança que oferece ao informar o período em que o dinheiro aplicado no investimento vai ser devolvido, e que no atual projeto resultou em um período de cerca de 8 anos.

3.3.2 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Segundo Assaf Neto (2012), a taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de juros (desconto) que iguala, em determinado momento do tempo, o valor presente das entradas (recebimentos) com o das saídas (pagamentos) previstas de caixa, cuja fórmula reduzida é descrita da seguinte forma:

$$FC_0 = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} \quad (1)$$

Onde:

- FC_0 = valor do fluxo de caixa no momento zero (recebimento – empréstimos, ou pagamento – investimento);
- FC_j = fluxos previstos de entradas ou saídas de caixa em cada período de tempo;
- i = taxa de desconto que iguala, em determinada data, as entradas com as saídas previstas de caixa. Em outras palavras, i representa a taxa interna de retorno.

Para este projeto foi verificado a TIR de 11,99% (Tabela 4), que está próxima da taxa mínima requisitada pelo BNDES (Banco Nacional do Desenvolvimento) para a linha de financiamento em que se enquadra o projeto e superior ao custo médio do capital que foi de 9,53%, viabilizando o projeto.

3.1.1 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

Outro método de avaliação de projeto também considerado foi sobre o Valor Presente Líquido, que é obtido entre o valor presente dos benefícios (ou pagamento) previstos de caixa, e o valor presente do fluxo de caixa inicial (valor do investimento, do empréstimo ou do financiamento), expressa pela seguinte formula:

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{FC_j}{(1+i)^j} - FC_0 \quad (2)$$

Onde:

- FC_j = representa o valor de entrada (ou saída) de caixa previsto para cada intervalo de tempo;
- FC_0 = fluxos de caixa verificado no momento zero (momento inicial), podendo ser um investimento, empréstimo ou financiamento.

Assim, o cálculo da Valor Presente Líquido (VPL) do Fluxo de Caixa Livre do Projeto em R\$ 2.077 milhões, utilizando a taxa de referência de 14,15%, tornando o projeto viável já agrega valor à empresa, conforme tabela abaixo:

Tabela 4 - TIR, VPL e Payback

Valor e TIR da SPE	
Fluxo de Caixa	TIR
Fluxo de Caixa Livre da Empresa	11,99%
Fluxo de Caixa Livre para os Acionistas	16,53%
Fluxo Efetivo dos Acionistas	10,11%
Valor Presente	VPL
Fluxo de Caixa Livre da Empresa	2.077
Fluxo de Caixa Livre para os Acionistas	2.013
Fluxo Efetivo dos Acionistas	(1.568)
Exposição Máxima	Exp. Máx.
Fluxo de Caixa Livre da Empresa	(40.676)
Fluxo de Caixa Livre para os Acionistas	(20.220)
Fluxo Efetivo dos Acionistas	(18.682)
Payback (Anos)	Payback
Fluxo de Caixa Livre da Empresa	8,06
Fluxo de Caixa Livre para os Acionistas	6,53
Fluxo Efetivo dos Acionistas	11,47

3.4.4 ÍNDICE DE COBERTURA DO SERVIÇO DA DÍVIDA

Segundo o BNDES (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social), o Índice de Cobertura do Serviço da Dívida (ICSD) é calculado pela divisão da geração de caixa operacional pelo serviço da dívida, com base em informações registradas nas Demonstrações Financeiras, em determinado período. Para os financiamentos estruturados sob a forma de *Project Finance*, o ICSD projetado para cada ano da fase operacional do projeto deverá ser de no mínimo 1,3.

Considerando as estimativas de projeção dos fluxos de caixa, o ICSD calculado é demonstrado na figura a seguir:

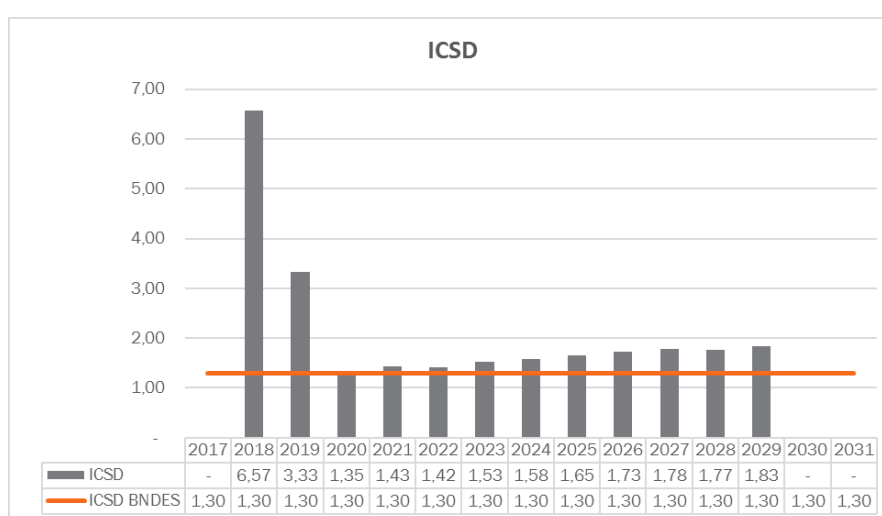


Figura 8 – Índice de Cobertura do Serviço da Dívida (ICSD) do Projeto

Verifica-se que o índice de cobertura exigido pelo BNDES é satisfeito em todos os períodos, não sendo aplicável apenas nos últimos dois anos da concessão, já que não há dívidas nestes períodos.

A alta cobertura em 2018 e 2019 dá-se pela carência nos contratos, já que não existe amortização da dívida nestes períodos (amortização esta que compõe o cálculo do índice), estabilizando-se em 2020, juntamente com o início da amortização da dívida pela concessionária.

3.4.5 ALAVANCAGEM

A premissa utilizada neste estudo para a alavancagem máxima foi de 60% sobre os itens elegíveis, ou seja, para o projeto analisado, cobrindo 56% do CAPEX total, mantendo o ICSD (Índice de Cobertura do Serviço da Dívida) superior a 1,3, conforme exigência do BNDES.

O ápice da alavancagem do projeto é verificado em 2021 (verificar ANEXO VIII –ALAVANCAGEM), o último ano de liberações do financiamento e ciclo de investimentos. A partir deste momento, as

amortizações são constantes até o final do contrato em 2030, o que reduz a alavancagem progressivamente.

3.4.6 EXPOSIÇÃO MÁXIMA

Dado o ciclo de investimentos nos primeiros 2 anos da concessão e um aumento progressivo da contraprestação, o Fluxo de Caixa Livre da Empresa mantém-se negativo nos primeiros anos do projeto. Desta maneira, espera-se um aumento na exposição de caixa nos primeiros anos do projeto, alcançando o seu máximo de em torno de R\$ 41 milhões em 2018, último período do ciclo de investimentos.

Após o ciclo de investimento essa exposição o se reduzirá, influenciada pelo fluxo de caixa livre da empresa positivo após 2022.

3.4.7 VALUE FOR MONEY

Um dos principais objetivos dos projetos de PPP é o de proporcionar vantagens socioeconômicas comparativamente maiores aquelas geradas por projetos contratados sob a forma tradicional de concessão pública. (Rocha 2005).

Sendo assim, uma forma de avaliar esses ganhos é o Value for Money que envolve a comparação entre os custos da PPP versus um projeto de comparação com obra pública e prestação de serviços (verificar ANEXO IX –VALUE FOR MONEY), ambos considerando o ponto de vista dos gastos do Poder Concedente.

Para os custos estimados de prestação de serviços, foram considerados valores utilizados em contratos vigentes com outras prefeituras, cujo objeto se assemelha ao objeto deste estudo, adequados à diferença de custos entre os municípios, escopo e qualidade do serviço. Para os valores de obra foram consideradas estimativas entre os valores de mercado e os praticados na PPP. Os custos desse projeto de comparação estão demonstrados na tabela a seguir:

3.4.8 OUTROS ÍNDICES ECONÔMICO-FINANCEIROS

Adicionalmente foi avaliado uma série de indicadores financeiros que auxiliam na avaliação do investimento do projeto, como os percentuais de margem e de lucratividade, percentual de endividamento, ROA (Retorno sobre Ativos), entre outros, demonstrados anualmente nas tabelas abaixo:

4 CONCLUSÃO

Analizando os benefícios resultantes da implantação do projeto e comparando os índices financeiros, verifica-se a total viabilidade e atratividade para os stakeholders, pois a TIR do projeto é de 11,99% contra os 9,53% do custo médio do capital, além de possui a VPL de R\$ 2.077 ($VPL > 0$) e um payback de cerca de 8 anos, fazendo o projeto ser bastante atrativo não só para os clientes envolvidos, mas também como opção de investimento para o setor privado. Outra questão de grande importância é o ICSD estar superior ao limite de 1,30, ou seja, existe a possibilidade de captar recursos com o BNDES com taxas inferiores aos praticados por bancos privados, melhorando ainda mais a atratividade do projeto.

REFERÊNCIAS

- ASSAF NETO, A. Matemática Financeira e suas aplicações. 12ª ed. São Paulo: Atlas, 2012.
- BNDES. BNDES: abordagem para Iluminação Pública, 2016.
- BONOMI, A.C.; Malvessi, O. Project Finance no Brasil: fundamentos e estudos de casos. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- CHARNOV, Bruce H; MONTANA, Patrick J. Administração. 2ªed. São Paulo: Saraiva, 2005.
- DAVID, F. P. Strategic Management: Concepts & Cases. 7. ed. New Jersey, EUA: Prentice Hall Inc.,1998.
- OLIVEIRA, Djalma de P. R. Planejamento Estratégico – Conceitos, Metodologias e Práticas. São Paulo: Atlas, 2004.
- PORTER, Michael. Estratégia Competitiva. Técnicas para Análise de Indústrias e da Concorrência. 7ª ed. Rio de Janeiro: Campus, 1997.
- ROCHA, G.E.M; HORTA, J. C. M. PPP – Parcerias Público-Privadas Guia Legal para Empresários, Executivos e Agentes de Governo. 1ª ed. Belo Horizonte: Prax, 2005.
- SANTOS, J. L; SCHMIDT, P. Contabilidade Societária. 4ª ed. São Paulo: Atlas, 2011.
- SANVICENTE, A. Z. Administração Financeira. 3 ed. São Paulo: Atlas, 1997.
- WORLD BANK GROUP. Iluminando as Cidades – Modelos de Negócios para Eficiência Energética em Iluminação Pública. Edição Seminário, 2016.

ANEXO I – DEMONSTRATIVOS DE RESULTADOS DOS EXERCÍCIO (DRE'S)

Demonstração de Resultados															
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Receita Bruta	15.786	18.240	15.076	15.076	15.076	15.076	15.076	15.076	15.076	15.076	15.076	15.076	15.076	15.076	15.076
(-) Tributos sobre Vendas	(1.934)	(2.234)	(1.847)	(1.847)	(1.847)	(1.847)	(1.847)	(1.847)	(1.847)	(1.847)	(1.847)	(1.847)	(1.847)	(1.847)	(1.847)
(=) Receita Líquida de Vendas	13.853	16.005	13.229	13.229	13.229	13.229	13.229	13.229	13.229	13.229	13.229	13.229	13.229	13.229	13.229
(-) Custos	(4.068)	(7.711)	(7.612)	(7.826)	(8.067)	(8.116)	(8.202)	(8.562)	(8.911)	(9.222)	(9.094)	(6.921)	(6.062)	(6.811)	(9.132)
(=) Lucro Bruto	9.785	8.294	5.617	5.404	5.163	5.114	5.027	4.667	4.319	4.007	4.135	6.309	7.167	6.418	4.097
(-/+) Despesas e Receitas Operacionais	(1.098)	(804)	(809)	(810)	(811)	(812)	(814)	(815)	(816)	(817)	(818)	(820)	(821)	(822)	(824)
Despesas Gerais e Administrativas	(1.041)	(804)	(809)	(810)	(811)	(812)	(814)	(815)	(816)	(817)	(818)	(820)	(821)	(822)	(824)
Despesas Pré-Operacionais	(57)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(=) Resultado Operacional (EBIT)	8.687	7.490	4.808	4.593	4.351	4.301	4.214	3.852	3.503	3.190	3.317	5.489	6.346	5.596	3.273
(+) Receitas Financeiras	279	33	539	799	886	1.015	499	535	548	605	672	656	621	546	677
(-) Despesas Financeiras	(223)	(2.744)	(3.771)	(3.745)	(3.502)	(2.324)	(2.016)	(1.708)	(1.400)	(1.092)	(783)	(475)	(167)	0	0
(=) Resultado Antes de IR e CS (EBT)	8.742	4.779	1.576	1.647	1.735	2.991	2.696	2.680	2.651	2.704	3.205	5.670	6.800	6.142	3.951
(+/-) Provisão de IR e CS	(2.982)	(1.733)	(756)	(859)	(969)	(1.483)	(1.472)	(1.558)	(1.646)	(1.765)	(1.975)	(2.569)	(2.864)	(2.786)	(2.455)
(=) Resultado Líquido	5.761	3.047	820	789	767	1.509	1.224	1.122	1.006	939	1.230	3.101	3.936	3.355	1.496

ANEXO II – BALANÇOS PATRIMONIAIS (BP'S)

Balanço Patrimonial															
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Ativo Circulante	7.186	19.252	23.951	25.292	27.137	15.414	16.113	16.390	17.565	18.974	18.744	17.937	16.264	18.998	0
Disponibilidades	565	10.758	16.869	19.146	21.923	10.782	11.564	11.845	13.081	14.518	14.167	13.408	11.791	14.634	0
Clientes	2.631	3.040	2.513	2.513	2.513	2.513	2.513	2.513	2.513	2.513	2.513	2.513	2.513	2.513	0
Estoques	1.952	1.552	1.552	1.552	1.552	1.552	1.552	1.552	1.552	1.552	1.552	1.552	1.552	1.552	0
Outros Créditos Operacionais	2.038	3.902	3.018	2.082	1.150	568	485	480	419	391	512	465	408	299	0
Ativo Não Circulante	21.085	44.683	42.471	39.498	36.329	33.799	29.448	25.482	20.609	15.499	12.049	9.299	7.432	4.856	0
Ativos Realizáveis a Longo Prazo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tributos Diferidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Outros Créditos Operacionais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Imobilizado	21.085	44.683	42.471	39.498	36.329	33.799	29.448	25.482	20.609	15.499	12.049	9.299	7.432	4.856	0
Intangível	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total do Ativo	28.271	63.935	66.422	64.790	63.467	49.213	45.561	41.872	38.174	34.472	30.793	27.236	23.696	23.853	0
Passivo Circulante	646	993	4.280	3.984	4.095	4.150	4.197	4.213	4.225	4.237	4.257	4.305	569	558	(0)
Obrigações Sociais e Trabalhistas	256	238	141	135	135	135	135	142	146	146	146	146	146	146	0
Obrigações Fiscais	287	230	101	109	118	185	240	248	255	267	284	332	356	345	0
Empréstimos e Financiamentos	0	424	3.958	3.659	3.761	3.761	3.761	3.761	3.761	3.761	3.761	3.761	(0)	(0)	(0)
Dividendos e JCP a Pagar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Outras Obrigações Operacionais	102	101	80	81	81	70	62	62	63	63	66	67	67	67	0
Passivo Não Circulante	0	32.270	30.650	28.526	26.324	22.564	18.803	15.042	11.282	7.521	3.761	0	0	0	0
Empréstimos e Financiamentos	0	32.270	30.650	28.526	26.324	22.564	18.803	15.042	11.282	7.521	3.761	0	0	0	0
Tributos Diferidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Outras Obrigações Operacionais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Patrimônio Líquido	27.625	30.672	31.492	32.280	33.047	22.499	22.561	22.617	22.667	22.714	22.775	22.931	23.127	23.295	0
Capital Social	21.865	21.865	21.865	21.865	21.865	21.865	21.865	21.865	21.865	21.865	21.865	21.865	21.865	21.865	0
Reservas de Capital	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reservas de Lucro	5.761	8.807	9.627	10.416	11.182	635	696	752	802	849	911	1.066	1.262	1.430	0
Ajustes e Resultados Abrangentes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultados Acumulados	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total do Passivo e do PL	28.271	63.935	66.422	64.790	63.467	49.213	45.561	41.872	38.174	34.472	30.793	27.236	23.696	23.853	(0)

ANEXO III – DEMONSTRAÇÕES DE FLUXOS DE CAIXAS

Demonstração de Fluxo de Caixa															
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Resultado Operacional (EBIT)	8.687	7.490	4.808	4.593	4.351	4.301	4.214	3.852	3.503	3.190	3.317	5.489	6.346	5.596	3.273
(+) Depreciações e Amortizações	727	3.538	5.036	5.293	5.527	5.818	6.094	6.355	6.652	6.956	6.766	4.585	3.720	4.461	6.763
(=) EBITDA	9.413	11.028	9.844	9.886	9.878	10.119	10.307	10.208	10.154	10.146	10.082	10.074	10.066	10.057	10.036
(-) Imposto de Renda sobre EBIT	(2.953)	(2.547)	(1.635)	(1.562)	(1.479)	(1.462)	(1.433)	(1.310)	(1.191)	(1.085)	(1.128)	(1.866)	(2.158)	(1.903)	(1.113)
(=) Fluxo de Caixa Bruto	6.460	8.482	8.209	8.325	8.399	8.657	8.875	8.898	8.963	9.062	8.955	8.208	7.908	8.155	8.923
(-/+) Investimentos Operacionais	(27.787)	(29.085)	(1.659)	(1.381)	(1.417)	(2.651)	(1.612)	(2.370)	(1.706)	(1.805)	(3.417)	(1.739)	(1.772)	(1.787)	1.899
Capital de Giro	(5.975)	(1.950)	1.165	940	941	637	130	21	72	40	(101)	95	80	98	3.806
Capital Permanente	(21.812)	(27.135)	(2.824)	(2.321)	(2.358)	(3.288)	(1.742)	(2.390)	(1.778)	(1.846)	(3.317)	(1.834)	(1.853)	(1.885)	(1.907)
Tributos Diferidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Outros Ativos Operacionais Líquidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(=) Fluxo de Caixa Livre da Empresa	(21.327)	(20.603)	6.550	6.944	6.982	6.006	7.262	6.529	7.258	7.256	5.538	6.469	6.136	6.368	10.822
(-/+) Fluxo de Capital de Terceiros	(147)	30.883	(3.173)	(5.329)	(4.284)	(5.047)	(4.848)	(4.649)	(4.450)	(4.252)	(4.053)	(3.854)	(1.807)	0	0
Despesas Financeiras	(223)	(2.744)	(3.771)	(3.622)	(3.358)	(2.182)	(1.881)	(1.580)	(1.279)	(978)	(676)	(375)	(74)	0	0
Benefício Fiscal sobre Despesas Financeiras	76	933	1.282	1.232	1.142	742	639	537	435	332	230	128	25	0	0
Aumento (Diminuição) das Dívidas	0	32.693	(684)	(2.938)	(2.067)	(3.606)	(3.606)	(3.606)	(3.606)	(3.606)	(3.606)	(3.606)	(1.758)	0	0
(=) Fluxo de Caixa Livre para Acionistas	(21.475)	10.279	3.377	1.614	2.698	960	2.415	1.879	2.807	3.005	1.485	2.615	4.328	6.368	10.822
(-/+) Fluxos Não Operacionais	175	(86)	135	148	111	110	(315)	(378)	(462)	(522)	(513)	(274)	(203)	(338)	(664)
Receitas Financeiras	279	33	539	676	742	872	364	407	427	491	565	556	528	546	677
Outros Efeitos Tributários	(104)	(119)	(404)	(528)	(631)	(762)	(679)	(785)	(889)	(1.013)	(1.078)	(830)	(731)	(884)	(1.342)
(-/+) Variação no Caixa da Empresa	(565)	(10.193)	(3.512)	(1.762)	(2.809)	10.987	(936)	(436)	(1.390)	(1.591)	196	605	(386)	(2.842)	14.634
(=) Fluxo Efetivo dos Acionistas	(21.865)	0	0	(0)	0	12.056	1.163	1.066	955	892	1.168	2.946	3.739	3.188	24.791
Variação no Capital, Reservas e Outras Contas	(21.865)	(0)	(0)	0	(0)	0	0	(0)	0	(0)	0	0	0	0	23.295
Pagamento de Dividendos e JCP	0	0	0	0	0	12.056	1.163	1.066	955	892	1.168	2.946	3.739	3.188	1.496

ANEXO IV – CAPITAL INVESTIDO

Capital Investido															
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Capital Investido Operacional	27.061	52.608	49.231	45.319	41.209	38.042	33.560	29.575	24.629	19.478	16.130	13.283	11.336	8.662	0
Capital de Giro	5.975	7.925	6.761	5.821	4.880	4.243	4.113	4.092	4.020	3.979	4.080	3.985	3.904	3.806	0
Capital Permanente	21.085	44.683	42.471	39.498	36.329	33.799	29.448	25.482	20.609	15.499	12.049	9.299	7.432	4.856	0
Tributos Diferidos Líquidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Outros Ativos Operacionais Líquidos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Disponibilidades	565	10.758	16.869	19.146	21.923	10.782	11.564	11.845	13.081	14.518	14.167	13.408	11.791	14.634	0
Total do Capital Investido	27.625	63.366	66.100	64.465	63.132	48.824	45.124	41.420	37.709	33.996	30.297	26.691	23.127	23.295	0
Capital de Terceiros	0	32.693	34.608	32.184	30.085	26.324	22.564	18.803	15.042	11.282	7.521	3.761	(0)	(0)	(0)
Saldos de Curto Prazo	0	424	3.958	3.659	3.761	3.761	3.761	3.761	3.761	3.761	3.761	3.761	(0)	(0)	(0)
Saldos de Longo Prazo	0	32.270	30.650	28.526	26.324	22.564	18.803	15.042	11.282	7.521	3.761	0	0	0	0
Capital Próprio	27.625	30.672	31.492	32.280	33.047	22.499	22.561	22.617	22.667	22.714	22.775	22.931	23.127	23.295	0
Capital, Reservas e Outros	27.625	30.672	31.492	32.280	33.047	22.499	22.561	22.617	22.667	22.714	22.775	22.931	23.127	23.295	0
Dividendos e JCP a Pagar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fontes de Capital	27.625	63.366	66.100	64.465	63.132	48.824	45.124	41.420	37.709	33.996	30.297	26.691	23.127	23.295	(0)

ANEXO V – INDICADORES FINANCEIROS

Indicadores Financeiros	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Indicadores de Atividade															
Prazo Médio de Recebimento	30,00	55,97	66,29	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	30,00
Prazo Médio de Pagamento	3,06	5,01	4,27	3,70	3,63	3,37	2,90	2,61	2,53	2,46	2,56	3,45	3,96	3,55	1,60
Prazo Médio de Estocagem	86,36	81,79	73,40	71,39	69,26	68,84	68,12	65,25	62,70	60,58	61,44	80,73	92,16	82,03	30,59
Ciclo Financeiro	113,30	132,75	135,42	127,70	125,63	125,47	125,22	122,64	120,17	118,12	118,87	137,28	148,20	138,48	58,99
Capital de Giro em Dias de Venda	68,13	137,18	175,34	150,22	127,76	108,92	99,76	97,96	96,85	95,50	96,22	96,29	94,19	92,05	45,44
Giro dos Ativos	0,98	0,35	0,20	0,20	0,21	0,23	0,28	0,30	0,33	0,36	0,41	0,46	0,52	0,56	1,11
Giro do Capital Investido Operacional	1,02	0,40	0,26	0,28	0,31	0,33	0,37	0,42	0,49	0,60	0,74	0,90	1,07	1,32	3,05
Alavancagem e Capacidade de Pagamento															
Índice de Liquidez Corrente	11,13	19,39	5,60	6,35	6,63	3,71	3,84	3,89	4,16	4,48	4,40	4,17	28,59	34,04	0,00
Caixa sobre Dívida de Curto Prazo	0,00	25,38	4,26	5,23	5,83	2,87	3,07	3,15	3,48	3,86	3,77	3,57	0,00	0,00	0,00
Participação de Capital de Terceiros	2,28%	52,03%	52,59%	50,18%	47,93%	54,28%	50,48%	45,99%	40,62%	34,11%	26,04%	15,81%	2,40%	2,34%	0,00%
Dívida sobre Dívida e PL	0,00%	51,59%	52,36%	49,93%	47,65%	53,92%	50,00%	45,40%	39,89%	33,19%	24,83%	14,09%	0,00%	0,00%	0,00%
Empréstimos e Financiamentos	0	32.693	34.608	32.184	30.085	26.324	22.564	18.803	15.042	11.282	7.521	3.761	(0)	(0)	(0)
Empréstimos e Fin. + PL + Dividendos e JCP a Pagar	27.625	63.366	66.100	64.465	63.132	48.824	45.124	41.420	37.709	33.996	30.297	26.691	23.127	23.295	(0)
Dívida Líquida sobre Dívida Líquida e PL	-2,09%	41,70%	36,03%	28,77%	19,81%	40,86%	32,78%	23,53%	7,97%	-16,61%	-41,20%	-72,63%	-104,02%	-168,95%	0,00%
Endividamento de Curto Prazo sobre Total	0,00%	1,30%	11,44%	11,37%	12,50%	14,29%	16,67%	20,00%	25,00%	33,33%	50,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%
EBITDA sobre Despesas Financeiras	42,14	4,02	2,61	2,64	2,82	4,35	5,11	5,98	7,25	9,29	12,87	21,20	60,29	0,00	0,00
EBITDA sobre Resultado Financeiro	(169,15)	4,07	3,05	3,36	3,78	7,73	6,79	8,70	11,92	20,87	90,45	(55,81)	(22,19)	(18,43)	(14,82)
Dívida sobre EBITDA	0,00	2,96	3,52	3,26	3,05	2,60	2,19	1,84	1,48	1,11	0,75	0,37	(0,00)	(0,00)	(0,00)
Dívida Líquida sobre EBITDA	(0,06)	1,99	1,80	1,32	0,83	1,54	1,07	0,68	0,19	(0,32)	(0,66)	(0,96)	(1,17)	(1,46)	(0,00)
Dívida sobre Imobilizado	0,00%	73,17%	81,49%	81,48%	82,81%	77,88%	76,62%	73,79%	72,99%	72,79%	62,42%	40,44%	0,00%	0,00%	0,00%
Lucratividade															
Crescimento da Receita Líquida	0,00%	15,54%	-17,34%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Margem Bruta	70,63%	51,82%	42,46%	40,84%	39,02%	38,65%	38,00%	35,28%	32,64%	30,29%	31,26%	47,69%	54,18%	48,52%	30,97%
Margem EBITDA	67,95%	68,91%	74,41%	74,73%	74,67%	76,49%	77,91%	77,16%	76,76%	76,70%	76,21%	76,15%	76,09%	76,02%	75,86%
Margem Operacional	62,71%	46,80%	36,35%	34,72%	32,89%	32,51%	31,85%	29,12%	26,48%	24,12%	25,07%	41,49%	47,97%	42,30%	24,74%
Margem Líquida	41,58%	19,04%	6,20%	5,96%	5,80%	11,40%	9,25%	8,48%	7,60%	7,10%	9,30%	23,44%	29,75%	25,36%	11,31%
Rentabilidade															
Retorno sobre Ativos (ROA)	63,43%	16,32%	8,20%	8,22%	8,17%	9,44%	9,94%	10,04%	10,12%	10,45%	12,22%	21,18%	27,36%	25,83%	33,13%
Retorno sobre Capital Investido Operacional (ROIC)	64,20%	18,80%	9,44%	9,72%	10,06%	10,85%	11,77%	12,20%	12,92%	14,47%	18,63%	37,33%	51,56%	55,97%	75,59%
Retorno sobre Patrimônio Líquido (ROE)	41,70%	10,45%	2,64%	2,47%	2,35%	5,43%	5,43%	4,97%	4,44%	4,14%	5,41%	13,57%	17,09%	14,46%	12,85%
Reinvestimento															
Dividendos e JCP Provisionados sobre Lucro Líquido	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	799,23%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%	95,00%	100,00%
Investimentos Operacionais sobre EBITDA	295,19%	263,73%	16,86%	13,97%	14,35%	26,19%	15,64%	23,21%	16,80%	17,79%	33,89%	17,26%	17,61%	17,77%	-18,92%
Investimentos em CAPEX sobre Depreciação e Amort.	30,01	7,67	0,56	0,44	0,43	0,57	0,29	0,38	0,27	0,27	0,49	0,40	0,50	0,42	0,28

ANEXO VI – CUSTOS OPERACIONAIS

Custos e Despesas Operacionais	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Pessoal	2.351	2.725	1619	1544	1544	1544	1544	1629	1671	1671	1671	1671	1671	1671	1671	26.200
Veículo	671	959	829	829	829	578	382	382	382	382	438	438	438	438	451	8.428
Estrutura	422	473	327	327	327	327	327	334	337	337	337	337	337	337	337	5.223
Subcontratação e Serviços	489	372	132	133	134	135	137	138	139	140	141	143	144	145	147	2.670
Material	386	363	431	465	470	476	482	488	494	501	507	514	520	527	534	7.160
Rede de Telegestão	11	34	17	15	16	20	20	20	21	21	22	22	22	23	23	307
Conta Extra Custo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Seguros e Garantias	52	52	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	494
Total	4.382	4.977	3.385	3.343	3.351	3.110	2.922	3.022	3.075	3.083	3.147	3.155	3.164	3.172	3.193	50.482

ANEXO VII – INVESTIMENTOS DE CAPITAL

Investimentos de Capital	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	TOTAL
Modernização	10.597	16.901	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27.498
Rede de Telegestão	1956	400	42	43	44	49	45	46	47	48	53	50	51	52	53	2.980
Remodelamento	775	1559	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2.334
IA . Especial	0	769	740	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1509
Melhoria de Rede	2.444	3.909	824	1060	1075	1090	1106	1124	1140	1157	1174	1192	1210	1228	1248	20.981
CCO	717	0	0	0	0	0	0	629	0	0	0	0	0	0	0	1347
Furto de cabo	7	8	9	9	9	9	10	10	10	10	10	11	11	11	11	144
Abalroamento	48	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	61	73	74	922
Subcontratação e Serviços	1835	3.528	1148	1148	1148	834	521	521	521	521	521	521	521	521	521	14.328
Veículos	3.383	0	0	0	0	1244	0	0	0	0	1498	0	0	0	0	6.125
Estrutura	50	0	0	0	21	0	0	0	0	50	0	0	0	0	0	121
Total	21.812	27.135	2.824	2.321	2.358	3.288	1.742	2.390	1.778	1.846	3.317	1.834	1.853	1.885	1.907	78.290

ANEXO VIII –ALAVANVAGEM

Alavancagem	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Empréstimos e Financiamentos	0	32.693	34.608	32.184	30.085	26.324	22.564	18.803	15.042	11.282	7.521	3.761	- 0	- 0	- 0
Empréstimos e Fin. +PL +Dividendos e JCP a Pagar	27.625	63.366	66.100	64.465	63.132	48.824	45.124	41.420	37.709	33.996	30.297	26.691	23.127	23.295	- 0
Dívida sobre Dívida e PL	0,00%	5159%	52,36%	49,93%	47,65%	53,92%	50,00%	45,40%	39,89%	33,19%	24,83%	14,09%	0,00%	0,00%	0,00%

ANEXO IX –VALUE FOR MONEY

Value for Money	ANO 01	ANO 02	ANO 03	ANO 04	ANO 05	ANO 06	ANO 07	ANO 08	ANO 09	ANO 10	ANO 11	ANO 12	ANO 13	ANO 14	ANO 15	TOTAL
Operação e Manutenção	6.213	5.865	5.209	5.108	5.122	4.953	4.885	5.042	5.128	5.142	5.249	5.263	5.278	5.293	5.329	79.079
Material	683	641	761	821	831	841	852	863	873	885	896	907	919	931	944	12.648
Pessoal	3.083	2.997	2.356	2.217	2.217	2.281	2.374	2.500	2.564	2.564	2.572	2.572	2.572	2.572	2.574	38.014
Veículos	697	727	981	963	963	737	548	555	558	558	642	642	642	642	661	10.519
Estrutura	740	780	643	638	640	620	633	643	649	650	652	652	653	654	655	9.901
Sub-contratação	1.011	721	467	469	471	474	478	480	483	485	487	489	492	494	497	7.997
Planos de Modernização e Melhorias	37.452	44.656	3.863	3.007	3.077	5.192	2.539	3.694	2.617	2.746	5.600	2.722	2.755	2.812	2.852	125.584
Material	27.958	41.704	2.960	2.071	2.100	2.136	2.159	2.191	2.222	2.253	2.294	2.320	2.354	2.410	2.449	99.581
Pessoal	868	1.584	365	378	378	315	221	238	246	246	238	238	238	238	236	6.026
Veículos	7.063	966	484	502	502	2.695	127	120	117	117	3.036	132	132	132	135	16.260
Estrutura	1.456	174	45	47	89	39	28	1.140	29	126	28	28	28	28	27	3.309
Sub-contratação	107	228	8	8	8	7	5	5	5	5	4	4	4	4	4	408

Capítulo 4



10.37423/231108433

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA ARGAMASSA POLIMÉRICA PARA SISTEMAS CONSTRUTIVOS

Gleiskelen do Carmo de Souza

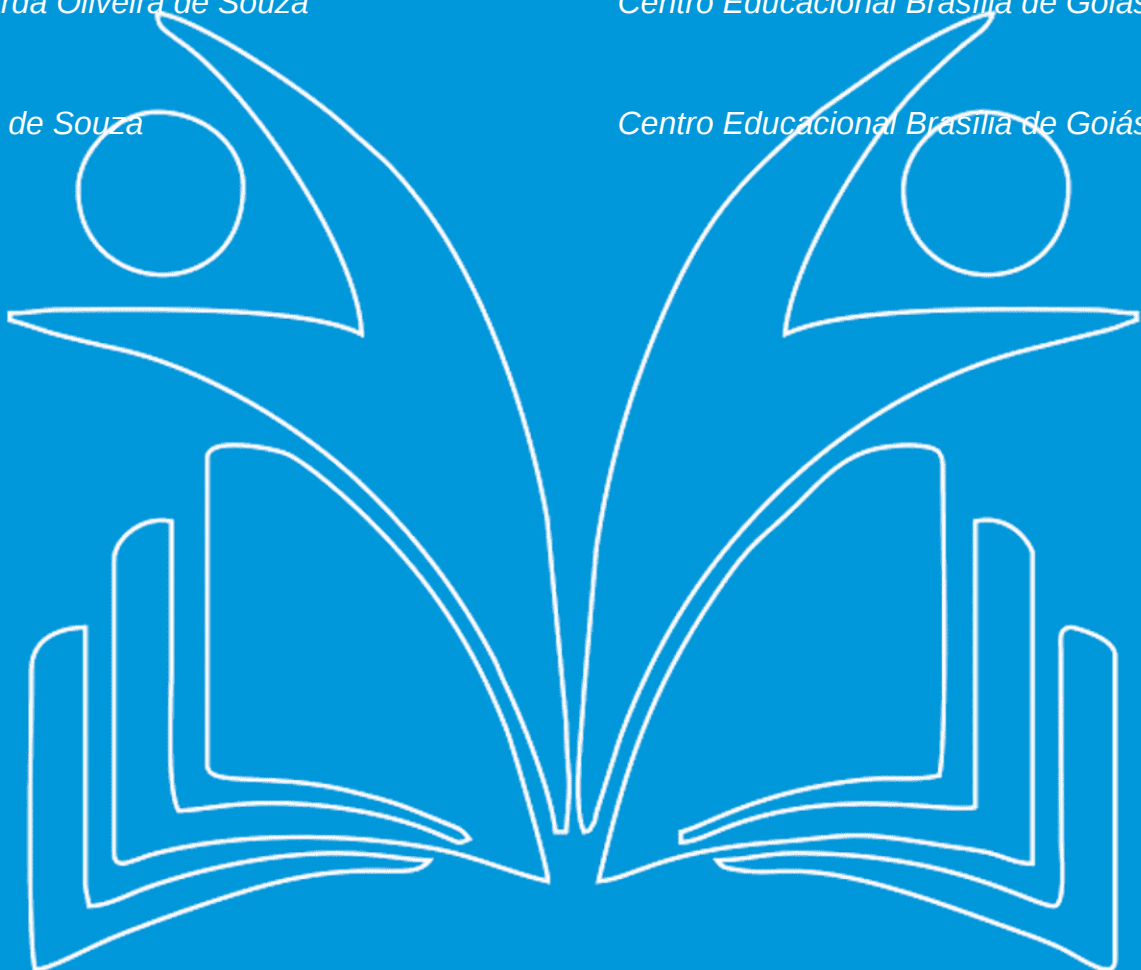
Centro Educacional Brasília de Goiás

Maria Eduarda Oliveira de Souza

Centro Educacional Brasília de Goiás

Kátia Maria de Souza

Centro Educacional Brasília de Goiás



Resumo: O estudo de viabilidade técnica e econômica da argamassa polimérica para sistemas construtivos é uma análise crítica que avalia a aplicabilidade e os benefícios desse material na construção. Esse estudo considera aspectos técnicos, como resistência, durabilidade e aderência, por meio de testes de campo. Além disso, a viabilidade econômica é avaliada em termos de custo-benefício, levando em conta o preço dos materiais, a eficiência do processo de aplicação, a economia de tempo e mão de obra, e a vida útil da estrutura. O objetivo principal foi realizar um cotejo entre alvenaria assentada com argamassa convencional e alvenaria com argamassa polimérica, considerando-se ainda a viabilidade técnica e financeira de 64,37% de economia.

Palavras-chave: Argamassa polimérica, Resistência, Viabilidade e Sustentabilidade.

1.INTRODUÇÃO

A argamassa polimérica chegou no Brasil em 2011, porém sua formulação química já existia na década de 1970. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) fez os testes de resistência e concedeu em março do ano de 2017 a NBR 16590/2017 “Composto polimérico para assentamento de alvenaria de vedação”, onde definiu os parâmetros que deve ser seguido para a comercialização do produto.

Segundo Comnisky e Souza (2019), o mercado com as novas tecnologias e inovações, na criação de produtos, buscam por materiais mais práticos e sustentáveis, que apresentam boa durabilidade e resistência durante o uso e após a finalização dos serviços, preza pela garantia de qualidade, favorecendo a argamassa polimérica a escolha seguindo esses critérios.

A construção civil no Brasil gera impactos ambientais, como a retirada de recursos naturais e a produção de gás carbônico (CO^2). A argamassa polimérica torna sustentável pelo fato de não ter na sua composição dois materiais que gera esses principais problemas, sendo a areia e o cimento, que de acordo com o Sindicato Nacional da Indústria de Cimento a fabricação de 1kg de cimento emite mais de 600 gramas de CO^2 .

2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A argamassa polimérica é um material composto por aditivos químicos e resinas sintéticas, que apresenta características superiores à argamassa convencional em termos de resistência, impermeabilidade e durabilidade. A NBR 16590/2017 “Composto polimérico para assentamento de alvenaria de vedação” mostra os ensaios feitos para a aprovação do produto no mercado, esses métodos de ensaios basicamente tratam de dois aspectos, que é a porcentagem (%) de água e resíduos sólidos na composição da massa, e o tipo de resina que está sendo utilizado o produto.

2.1. ARGAMASSA PARA ASSENTAMENTO

A argamassa é um elemento fundamental na indústria da construção civil e é amplamente empregada em todas as formas de construção. Sua função principal é o assentamento de blocos de diferentes composições, como cerâmica e cimento. Suas propriedades adesivas possuem características físico-químicas adequadas para atender às necessidades da construção. Graças à sua trabalhabilidade, a argamassa proporciona excelentes resultados ao unir diversos materiais na construção civil, seja para fins de ligação, nivelamento ou assentamento. Ela desempenha um papel fundamental na evolução da obra, levando-a do início ao estágio final (MALINVERNI, 2016).

A argamassa é uma substância utilizada na construção que é composta por uma mistura uniforme de um ou mais aglutinantes, como cimento ou cal, agregado fino, como areia, e água. Também podem ser adicionados produtos especiais, como aditivos ou complementos, com o objetivo de aprimorar ou conferir características específicas ao conjunto (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND - ABCP, 2002).

Ao realizar estudos sobre produtividade, impactos de longo prazo e custos indiretos, é possível iniciar uma nova fase de construções mais sustentáveis, reduzindo o desperdício de materiais e otimizando os processos de produção. A argamassa, um dos principais produtos utilizados na indústria da construção, é responsável por gerar uma grande quantidade de resíduos no setor. No entanto, também traz inovações para o mercado, visando melhorar o desempenho técnico e de produção, evitando desperdícios e priorizando a sustentabilidade em todas as etapas, de forma a minimizar os impactos ambientais (COMNISKY e SOUZA, 2019).

A Norma Brasileira NBR 8545 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1984) define as principais funções da argamassa de assentamento como sendo capaz de sustentar o peso dos tijolos e mantê-los alinhados durante o processo de assentamento. Martinelli e Helene (1991) também ressaltam outras funções, como unir os elementos da alvenaria e preencher as juntas entre eles.

2.2. ARGAMASSA MISTA PREPARADA EM OBRA

De acordo com a NBR 7200 (ABNT, 1998), a medição dos materiais da argamassa deve ser realizada em recipientes de volume conhecido, identificados por cores ou símbolos, e não são permitidos instrumentos imprecisos, como pás ou latas. Após a medição dos materiais, a mistura é feita mecanicamente por um período de 3 a 5 minutos. Quando a argamassa é à base de cal ou mista, a norma recomenda um processo de maturação da cal, onde ela é misturada com água e possivelmente areia, formando uma pasta viscosa que deve ser misturada por pelo menos 16 horas antes de adicionar o cimento. A mistura pode ser feita manualmente ou mecanicamente, sendo necessário o uso de um misturador para a segunda opção. Segundo Carvalho (2005), ao fazer a mistura mecanicamente, é ideal começar com o agregado miúdo e água, adicionando os aglomerantes posteriormente. Existem algumas recomendações básicas a serem seguidas para a mistura de componentes na produção de argamassa, como o tempo de mistura, a sequência de adição dos materiais e o controle do volume de produção, levando em consideração a temperatura e a umidade do ambiente. Caso haja aditivos retardadores, esses prazos podem ser alterados.

2.3. COMPOSTO POLIMÉRICO

Um composto polimérico é uma substância química composta por cadeias de polímeros, que são macromoléculas formadas por unidades repetitivas. Essas unidades repetitivas, chamadas de monômeros, se ligam entre si por meio de ligações químicas, formando a estrutura do polímero. Os polímeros podem ser naturais, como a celulose e a proteína, ou sintéticos, produzidos através de processos industriais, como o polietileno e o poliéster. Os compostos poliméricos têm uma ampla gama de aplicações em diversas indústrias, como plásticos, borrachas, fibras têxteis, revestimentos, adesivos e muitos outros. Eles oferecem propriedades únicas, como resistência, flexibilidade, durabilidade e versatilidade, tornando-os essenciais em muitos produtos e materiais do nosso cotidiano.

2.4. PRODUTOS DE ASSENTAMENTO VENDIDO NO MERCADO

Existem diferentes materiais que podem ser usados para assentar tijolos, sendo os mais comuns:

- Argamassa de cimento: É a opção mais tradicional e amplamente utilizada. É composta por cimento, areia e água, podendo incluir aditivos para melhorar suas propriedades.
- Argamassa pronta: Também conhecida como argamassa industrializada, é uma opção conveniente, pois já vem pronta para uso, bastando adicionar água. Pode ser encontrada em diferentes formulações para atender a diferentes necessidades de assentamento.
- Argamassa colante: É uma argamassa especializada para assentamento de tijolos, geralmente usada em aplicações mais técnicas ou em superfícies específicas, como tijolos cerâmicos, porcelanatos ou pedras.
- Argamassa polimérica: É uma argamassa industrializada que contém aditivos poliméricos para melhorar suas propriedades de aderência e flexibilidade. É uma opção mais moderna e resistente, adequada para diferentes tipos de tijolos e condições de aplicação.
- Argamassa de cal: É uma mistura de cal hidratada, areia e água. É utilizada principalmente em trabalhos de restauração e para tijolos antigos ou especiais, devido às suas propriedades de aderência e flexibilidade.

2.5. CONSIDERAÇÕES ENTRE ARGAMASSA RODADA EM OBRA E COMPOSTOS POLIMÉRICOS

Neste estudo que Malinverni (2016) fez, mostra a comparação entre argamassas tradicionais e argamassa industrializada polimérica, onde foi feito um estudo de caso nos canteiros de obras na região de Caçador, Santa Catarina, Brasil. A pesquisa demonstrou a importância do controle tecnológico e evidenciou as vantagens da argamassa industrializada polimérica em termos de custo-benefício, menor desperdício, maior rendimento e padronização dos produtos. Apesar disso, o tradicionalismo na construção civil pode gerar resistência à adoção de produtos inovadores. A falta de conhecimento sobre as vantagens da argamassa industrializada polimérica ainda é um obstáculo para sua aceitação generalizada, apesar de estudos científicos e profissionais da área comprovarem seu potencial superior em relação à argamassa tradicional.

2.6. COMPORTAMENTO FÍSICO E MECÂNICO DAS ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO

De acordo com o trabalho de Mohamad (2009), concluímos que:

- A relação água/cimento influencia nos resultados mecânicos das argamassas, divergindo das normas de especificação.
- Não há relação direta entre o teor de ar na mistura e o índice de vazios, afetando o modo de ruptura e a deformação pós-ruptura.
- Existe uma relação potencial entre as resistências das amostras cúbicas, cilíndricas e prismáticas em função da relação água/cimento.
- O módulo de elasticidade deve ser medido com os LVDT's (Transdutor para medição de deslocamento linear) posicionados no terço médio da amostra.
- O coeficiente de Poisson diminui com o aumento da resistência das argamassas.
- Existe uma relação linear entre o módulo de elasticidade e a resistência à compressão.
- As argamassas com maior resistência apresentam comportamento linear até uma certa tensão, enquanto argamassas de menor resistência apresentam deformações não-lineares em níveis de tensão mais baixos.
- A argamassa confinada apresenta comportamento linear entre o aumento da resistência à compressão e a tensão lateral.

3. METODOLOGIA

3.1. PRIMEIRA ETAPA

No início deste estudo foi utilizada a metodologia de pesquisa descritiva, que se baseou em artigos científicos, trabalhos acadêmicos, sites de fabricantes, profissionais da área de construção civil e sites especializados em argamassas e assentamentos que aprofundasse o conhecimento a respeito do tema e auxiliar no projeto.

3.2. SEGUNDA ETAPA

Na etapa seguinte, realizou-se uma pesquisa qualitativa e exploratória, incluindo uma pesquisa de campo com alguns profissionais, dos quais somente cinco já conheciam e dois já utilizavam o método em questão. Além disso, foram consultados três engenheiros civis e dois proprietários de construtoras para obter mais informações sobre a proposta de comparação. O local de estudo foi na UniBrasília, em São Luís de Montes Belos-GO.

3.3. TERCEIRA ETAPA

Com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica, realizaram-se comparações de produção. Para isso, uma coluna de cinco blocos cerâmicos foi construída utilizando argamassa tradicional, enquanto outra coluna foi construída com argamassa polimérica. O experimento teve a duração de oito dias úteis, com um pedreiro e um servente, visando coletar dados para a pesquisa apresentada no estudo de caso.

4. ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado no Centro Universitário Brasília de Goiás, onde mostra alguns parâmetros de diferença entre a argamassa comum e argamassa polimérica, como resistência e tempo de construção

Foi utilizado dez blocos cerâmico vedação 6 furos 9x19x29cm, cimento, areia, aditivo, água e argamassa polimérica. O pedreiro com a ajuda do servente fez a massa comum com cimento, areia, aditivo e água para o assentamento de 5 blocos cerâmicos, onde foi gasto cerca de 10 minutos para a mistura do material e 5,25 minutos para o assentamento dos blocos.

A argamassa polimérica usamos a bisnaga de 3 kg que para o assentamento de 5 blocos cerâmicos foi utilizado pouco menos de 500g, onde o pedreiro precisou apenas fazer o corte na marcação e passar nos blocos. Foi gasto cerca de 3,15 minutos para finalizar.

Para o teste de resistência foi adotado um tempo de cura de 8 dias. Utilizamos para gerar uma força com carga distribuídas blocos de cimento (pavers) que pesa 2,600 kg cada, que foram colocados nas colunas determinando suas resistências. As colunas feitas com os blocos cerâmicos foram colocadas encima de dois blocos de concreto de 40 cm de comprimento, com duas barras de ferro por baixo, acima delas foram mais duas barras de ferro e uma tabua para distribuição do peso.

A Coluna feita com argamassa comum conseguiu suportar 78kg chegando em sua resistência máxima e rompendo. A coluna com argamassa polimérica chegou as 120 kg sem romper e nem descolar.

Comparamos os custos entre argamassa comum e argamassa polimérica (tabela 1), e chegamos a conclusão que a polimérica compressa mais em relação a convencional, podemos observar que além da economia em mão de obra, seu rendimento pode chegar em até 3 vezes mais. Consideramos que 1 kg de massa polimérica equivalem a até 20 kg de massa convencional. Esse alto rendimento reduz o tempo necessário de processamento da massa até o momento de aplicação, “sobrando” mais tempo para o pedreiro trabalhar naquilo que realmente agrega valor para a obra nesta etapa, que é construir a alvenaria.

Tabela 1. Custos por metro quadrado de assentamento de alvenaria.

ARGAMASSA COMUM			
Item	Unidade	Quantidade	R\$/m ²
Mão de obra	m ² /dia	22,0	16,81
Areia	Kg/m ²	15,0	1,80
Cimento	Kg/m ²	5,0	3,75
Aditivo	Litros/m ²	0,2	3,56
TOTAL (R\$)			25,91
ARGAMASSA POLIMÉTRICA			
Mão de obra	m ² /dia	50,0	5,00
Argamassa Polimétrica	Kg/m ²	1,6	11,68
TOTAL (R\$)			16,68

* Valores coletados no mês de novembro de 2023, na cidade de São Luís de Montes Belos.

Fonte: Própria, 2023

5.CONCLUSÃO

Concluimos com este estudo que a argamassa polimérica, tem seu tempo de construção menor e sua resistência maior, a mão de obra reduzida, diminuindo o custo da obra e o tempo de finalização, gerando uma obra rápida e com bom custo benefício.

6. REFERÊNCIAS

CARVALHO, A. C. A, DUTRA, C. T. S, DUTRA, V. A. S. Uso da argamassa polimérica para o assentamento de alvenaria. Projectus, São Paulo, Vol. 05, nº 02, p 88-101, 2020.

FERREIRA, Karina. Estudo comparativo entre argamassas convencionais e industrializadas. Campo Mourão, 2016.

MALINVERNI, Fernanda. Estudo de caso comparativo entre alguns aspectos da argamassa de assentamento convencional e a argamassa Polimérica industrializada usada somente para assentamento. IGNIS, Caçador: 2016, Vol. 05, nº 02, p. 16-25, jun. 2016.

MOHAMAD, G.; SANTOS NETO, A.B.S.; PELISSER, F.; LOURENÇO, P.B.; ROMAN, H.R. Caracterização mecânica das argamassas de assentamento para alvenaria estrutural- previsão e modo de ruptura. Revista Matéria, Rio de Janeiro: Agosto, Vol. 14, nº. 2, p. 824 – 844, 2009.

MOREIRA, André Araújo Amato; VERMELHO, Lazaro Colodette; ZANI, Matheus Carreiro. Estudo da Argamassa Polimérica de Assentamento de Blocos e Tijolos Segundo Aspectos Técnicos, Econômico, Mercadológicos e de Clima Organizacional. Espacios.Caracas, nº 53, p. 14, 2017.

MORENO, Felipe de Paula; SCHINDLER, Marcio. Argamassa Polimérica para Assentamento de Alvenaria. Itajaí, 2022.

OLIVEIRA, Adhayl Alves et al. O USO DA ARGAMASSA POLIMÉRICA: Sustentabilidade e economia. Ceres: ATIVIDADE INTEGRATIVA VI JORNADA INTERDISCIPLINAR DE ENGENHARIA CIVIL, 2019.

STRAIOTO, Henrique. Open Science Research: Comparativo de assentamento de alvenaria de vedação com argamassa convencional e argamassa polimérica. 5ed. Cientifica digital., 2022.

Capítulo 5



10.37423/231108434

ANÁLISE DA REFORMA DO PRIMEIRO BATALHÃO DA PM NA CIDADE DE GOIÁS- GO

Yan Henrique Pereira Adorno

Centro Educacional Brasília de Goiás

Kátia Maria de Souza

Centro Educacional Brasília de Goiás



Resumo: O presente estudo concentra-se na análise da reforma do Primeiro Batalhão da Polícia Militar na Cidade de Goiás, Estado de Goiás. O início da pesquisa destacou a relevância intrínseca desse tema, uma vez que envolve a revitalização de uma instituição essencial para a segurança pública em um contexto histórico. A investigação busca compreender os elementos de engenharia e os desafios envolvidos na reforma dessa construção histórica, contribuindo para o enriquecimento do conhecimento e a valorização do patrimônio histórico local. O objetivo geral desta pesquisa foi sintetizar a importância da preservação de obras históricas da engenharia civil e analisar a evolução dos processos de construção ao longo dos séculos, destacando como essa preservação pode contribuir significativamente para uma cidade tombada como patrimônio cultural da humanidade. A metodologia adotada, incluindo revisão bibliográfica e coleta de dados visuais, fornece uma base sólida para abordar os desafios complexos relacionados à reforma do Primeiro Batalhão da PM na Cidade de Goiás. A relevância deste estudo reside na necessidade de manter a excelência dos serviços prestados pelo batalhão à comunidade, garantindo a segurança pública em uma cidade histórica tombada como patrimônio cultural da humanidade.

Palavras- chave: Reforma. Engenharia. Patrimônio Histórico. Conformidades.

1 INTRODUÇÃO

O presente estudo teve seu início com a ênfase da relevância do tema escolhido, que se concentra na análise da reforma de edifícios e construções históricas, com um foco específico no primeiro batalhão da Polícia Militar do estado de Goiás, localizado na Cidade de Goiás - GO. A pesquisa visa investigar os elementos de engenharia empregados em benefício da comunidade, contribuindo assim para o enriquecimento do conhecimento e valorização do patrimônio histórico.

A justificativa para este estudo está fundamentada na complexidade dos desafios envolvidos, sejam eles de natureza estrutural, orçamentária ou relacionados aos prazos de execução. A edificação em questão foi construída em um período distante, o que implica adequações aos requisitos estabelecidos pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) para manter a integridade estética e estrutural, preservando, assim, a rica história que envolve o edifício. Essa abordagem é particularmente relevante para uma cidade histórica com inúmeros museus.

No tocante ao problema, surgem desafios relacionados à conformidade com as normas de funcionalidade, incluindo a reorganização dos espaços internos para a modernização dos serviços prestados. Além disso, aspectos estruturais, como paredes, pilares de sustentação e armações de telhado, apresentam características distintas das técnicas contemporâneas e podem necessitar de restauração. O gerenciamento do orçamento também é uma questão crítica, uma vez que a reforma é um processo demorado, exigindo a transferência temporária das atividades do centro militar para outra instalação.

O objetivo geral desta pesquisa foi sintetizar a importância da preservação de obras históricas da engenharia civil e analisar a evolução dos processos de construção ao longo dos séculos, destacando como essa preservação pode contribuir significativamente para uma cidade tombada como patrimônio cultural da humanidade.

Os objetivos específicos incluem a avaliação do estado de conservação das estruturas, a determinação da mão de obra especializada necessária, a proposição de melhorias nos espaços internos, a identificação dos benefícios para a sociedade e a elaboração de um orçamento aproximado.

A relevância deste estudo reside na importância do corpo policial para a segurança pública de uma cidade e na necessidade de manter a excelência dos serviços prestados por meio da reforma de uma construção histórica.

A metodologia adotada envolve duas etapas. Na primeira, ocorrida entre março e abril de 2023, foi realizada uma revisão bibliográfica, consultando fontes como artigos acadêmicos, livros, dissertações, manuais e monografias, bem como leis federais, estaduais e municipais pertinentes ao tema. A segunda etapa consistiu na coleta de dados por meio de fotografias e na pesquisa em plataformas de imagens por satélite, como o Google Earth, para obter informações visuais relevantes sobre o edifício histórico em questão.

PARTE SUPERIOR DO FORMULÁRIO2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PRESERVAÇÃO DE EDIFÍCIOS HISTÓRIOS

Quando se trata de edificações históricas, é fundamental ressaltar a existência de metodologias específicas para intervenção na restauração, reforma ou reabilitação desses imóveis (KNOP, 2012). O tombamento é uma das formas mais antigas e estabelecidas de preservação do patrimônio cultural. Como instrumento jurídico, criado por meio de uma lei federal brasileira, o Decreto-lei nº 25 de 30 de novembro de 1937, seu objetivo principal é garantir a preservação de bens materiais, sejam eles de caráter público ou privado, aos quais é atribuído valor cultural para a comunidade em que estão inseridos (BRASIL, 1937).

Para que um bem seja tombado, é necessário passar por um processo administrativo até ser inscrito em, pelo menos, um dos quatro Livros do Tombo estabelecidos pelo Decreto mencionado. Esses livros são: o Livro do Tombo Arqueológico, Etnográfico e Paisagístico; o Livro do Tombo Histórico; o Livro do Tombo das Belas Artes; e o Livro do Tombo das Artes Aplicadas. No último deles, são registrados os bens culturais que possuem valor artístico, associado a sua função utilitária. Dentro desse livro, podem ser considerados setores como arquitetura, artes decorativas, design, artes gráficas e mobiliário, por exemplo (IPHAN, 2018).

Conforme apontado por Ghirardello e Spisso (2008), o termo em questão, "Torre do Tombo", ou simplesmente "Arquivo", deriva de sua origem em Portugal, especificamente da Torre do Tombo localizada no Castelo de São Jorge. Essa torre histórica desempenhou a função de salvaguardar documentos de importância crucial, os quais atualmente compõem o renomado Arquivo Central do Estado Português.

No contexto do início dos anos 1990, questões relacionadas à sustentabilidade ganharam destaque nos âmbitos da arquitetura e do urbanismo internacional de maneira marcante. Essas preocupações emergiram como impulsionadoras de novos paradigmas e acarretaram a necessidade premente de

reavaliar as abordagens voltadas ao ambiente construído. A temática passou a transcender a esfera teórica, tornando-se uma exigência crucial para a preservação do patrimônio construído e das condições humanas (GASPARY, 2012).

Nesse processo de reconfiguração, diversos conceitos foram gradualmente incorporados à prática da preservação, sendo um dos mais amplamente adotados o conceito de *retrofit*. Essa abordagem consiste na adaptação das edificações existentes às necessidades dos usuários contemporâneos, integrando-se não apenas tecnologias relacionadas à automação, economia de energia, sistemas de informação, proteção contra incêndios, sistemas elétricos e hidráulicos, mas também a renovação ou reforma de materiais e revestimentos. Essa estratégia visa a ampliar a vida útil dessas edificações históricas sem, contudo, alterar suas características originais (GUIMARÃES, 2017). Portanto, observa-se que a eficiência energética e a implementação de sistemas fotovoltaicos já se configuram como tecnologias capazes de conjugar benefícios às edificações históricas, conferindo-lhes maior durabilidade e adaptando-as às novas exigências de sustentabilidade na construção.

Conforme apontado por Guimarães (2017), o conceito de *retrofit* foi introduzido durante a década de 1990 na Europa e nos Estados Unidos, com o propósito de atender às rigorosas regulamentações de preservação, permitindo, assim, a utilização apropriada de edifícios históricos já existentes no contexto construído das cidades. A origem desse termo reside na combinação da expressão latina *retro*, que denota um movimento regressivo, e do vocábulo inglês *fit*, que implica na adaptação da edificação aos interesses e necessidades contemporâneas (GASPARY, 2012). Vale salientar que essa abordagem difere dos conceitos de reforma, os quais visam melhorias na edificação, sem um compromisso direto com suas características anteriores ou sua restauração.

De acordo com o estudo conduzido por Guimarães (2017), é afirmado que a aplicação adequada do *retrofit*, por meio da incorporação de tecnologias e materiais eficientes, pode contribuir significativamente para a recuperação e preservação das edificações, uma vez que combina novos avanços tecnológicos e materiais com edifícios históricos, tornando-os mais eficientes e alinhados com as demandas atuais dessas estruturas.

Nesse contexto, considera-se que o *retrofit*, juntamente com a manutenção e a restauração de edifícios, desempenha um papel intrínseco na promoção da sustentabilidade ecológica das construções, uma vez que proporciona a maximização do ciclo de vida dos edifícios existentes e a revitalização da estrutura urbana circundante (GUIMARÃES, 2017). Além de evitar demolições muitas

vezes desnecessárias, essas práticas qualificam as edificações e contribuem para a redução do consumo de energia e matérias-primas necessárias para a produção de novas construções.

A Instrução Normativa nº 2, de 4 de junho de 2014, estabelece que o termo *retrofit* abrange qualquer tipo de reforma que envolva modificações nos sistemas de iluminação, condicionamento de ar ou na envoltória da edificação (MMA, 2014). Dessa forma, quando edificações históricas passam por melhorias em algum desses elementos, é necessário submetê-las a um processo de *retrofit*, visando adequar a estrutura às novas demandas e usos.

No contexto brasileiro, a NBR 15575-1, que corresponde à Norma de Desempenho Brasileira, define *retrofit* como o ato de remodelar ou atualizar um edifício ou seus sistemas, por meio da incorporação de novas tecnologias e conceitos, geralmente com o objetivo de valorizar o imóvel, promover mudanças de uso, aumentar a vida útil e aprimorar a eficiência operacional e energética (ABNT, 2008).

Outro princípio amplamente utilizado no processo de preservação de edifícios históricos é o conceito de restauração, que pode ser compreendido como a recuperação da substância de um bem a um estado anterior conhecido, a fim de torná-lo novamente funcional para atividades humanas (GASPARY, 2012). A restauração é conceituada como um conjunto de intervenções que visam à recuperação da imagem, da concepção original ou do auge histórico da edificação (GUIMARÃES, 2017).

Segundo Gasparry (2012), alguns conceitos foram incorporados à prática contemporânea de restauração, a fim de tornar mais clara qualquer forma de intervenção em uma edificação histórica. Para resumir esses conceitos, a Tabela 1 apresenta os princípios fundamentais que norteiam o processo de restauração na contemporaneidade.

Tabela 1 - Princípios fundamentais no processo de restauração na contemporaneidade

Princípios Fundamentais da Restauração	Processos de restauração na contemporaneidade
1. Autenticidade	Preservar as características originais e a identidade histórica da edificação.
2. Reversibilidade	Realizar intervenções que possam ser desfeitas sem causar danos permanentes ao patrimônio.
3. Documentação	Fazer um registro detalhado, incluindo documentos e fotografias, antes de qualquer intervenção.
4. Conservação Preventiva	Adotar medidas para prevenir danos futuros, como controle de umidade e proteção contra pragas.
5. Respeito ao Contexto	Levar em consideração o entorno e a relação da edificação com seu ambiente histórico circundante.
6. Uso Sustentável	Promover a adaptação da estrutura histórica para atender às necessidades contemporâneas de forma sustentável.
7. Acesso Público	Tornar o patrimônio acessível ao público para educação e apreciação cultural, quando possível.
8. Consulta às Comunidades	Incluir as opiniões e perspectivas das comunidades locais no processo de decisão e planejamento.
9. Intervenções Mínimas	Realizar intervenções apenas quando estritamente necessárias, evitando modificações irreversíveis.
10. Pesquisa e Inovação	Utilizar métodos de pesquisa e técnicas inovadoras para abordar desafios específicos de restauração.

Fonte: Gaspary (2012)

Os princípios da restauração contemporânea apresentados na tabela têm como objetivo orientar as intervenções realizadas em edificações históricas, buscando preservar sua autenticidade e valor cultural. Esses princípios destacam a importância de uma abordagem cuidadosa e responsável no processo de restauração, levando em conta tanto o valor histórico quanto o cultural das edificações, de forma a preservar sua autenticidade e promover a compreensão e apreciação da história.

2.2 ÓRGÃOS E NORMAS VIGENTES RESPONSÁVEIS PELA RESTAURAÇÃO DE EDIFÍCIOS HISTÓRICOS

Os órgãos responsáveis pela preservação, proteção e monitoramento dos bens culturais no Brasil desempenham suas funções em três esferas: federal, estadual e municipal. Essas entidades têm como objetivo principal garantir a proteção e promoção dos bens culturais, garantindo sua permanência e usufruto nas gerações presentes e futuras (IPHAN, 2018).

O órgão encarregado de preservar o Patrimônio Cultural brasileiro é o Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). Além disso, o IPHAN é responsável pela conservação, salvaguarda e monitoramento dos bens culturais brasileiros que estão listados no Patrimônio Mundial e no Patrimônio Cultural Imaterial da Humanidade, de acordo com as convenções da UNESCO, incluindo a Convenção do Patrimônio Mundial de 1972 e a Convenção do Patrimônio Cultural Imaterial de 2003 (IPHAN, 2018).

O IPHAN utiliza uma variedade de instrumentos legais para proteger o patrimônio material do país. Esses instrumentos foram mantidos ao longo do tempo por diferentes leis e regulamentos e oferecem uma gama de opções a serem aplicadas, dependendo da natureza do bem em questão (IPHAN, 2018).

As normas a seguir estabelecem as diretrizes e procedimentos para a gestão dos bens considerados patrimônio histórico e artístico da União:

- A Constituição Federal, nos artigos 216 e 217.
- O Decreto Lei nº. 25, de 30 de novembro de 1937, que organiza a proteção do patrimônio histórico e artístico nacional.
- O Decreto nº. 3.179, de 21 de setembro de 1999, que regulamenta a Lei dos Crimes Ambientais e trata das satisfações satisfatórias às infrações contra o Ordenamento Urbano e o Patrimônio Cultural (IPHAE, 2009).

O IPHAN possui uma biblioteca virtual que contém uma vasta gama de recursos, como cartas patrimoniais, publicações, legislação e outros documentos, os quais fornecem transferências para suas atividades e auxiliam os profissionais de restauro durante as fases de planejamento e execução de obras (KNOP, 2012). Dentre esses recursos, destaca-se o Manual de Elaboração de Projetos de Preservação do Patrimônio Cultural, que tem como objetivo principal "orientar e sistematizar a elaboração de Projetos para Preservação do Patrimônio Edificado e de Espaços Públicos Urbanos integrantes do Patrimônio Cultural, protegido na forma da legislação pertinente" (IPHAN, 2005). Esse documento apresenta diretrizes específicas para projetos em edificações históricas tombadas, No que diz respeito à proteção dos bens tombados, o IPHAN estabelece uma resistência de sua destruição e assume a responsabilidade de vigilância sobre eles (IPHAN, 2018). Aqueles que desrespeitarem essa norma estarão sujeitos às medidas previstas na legislação federal.

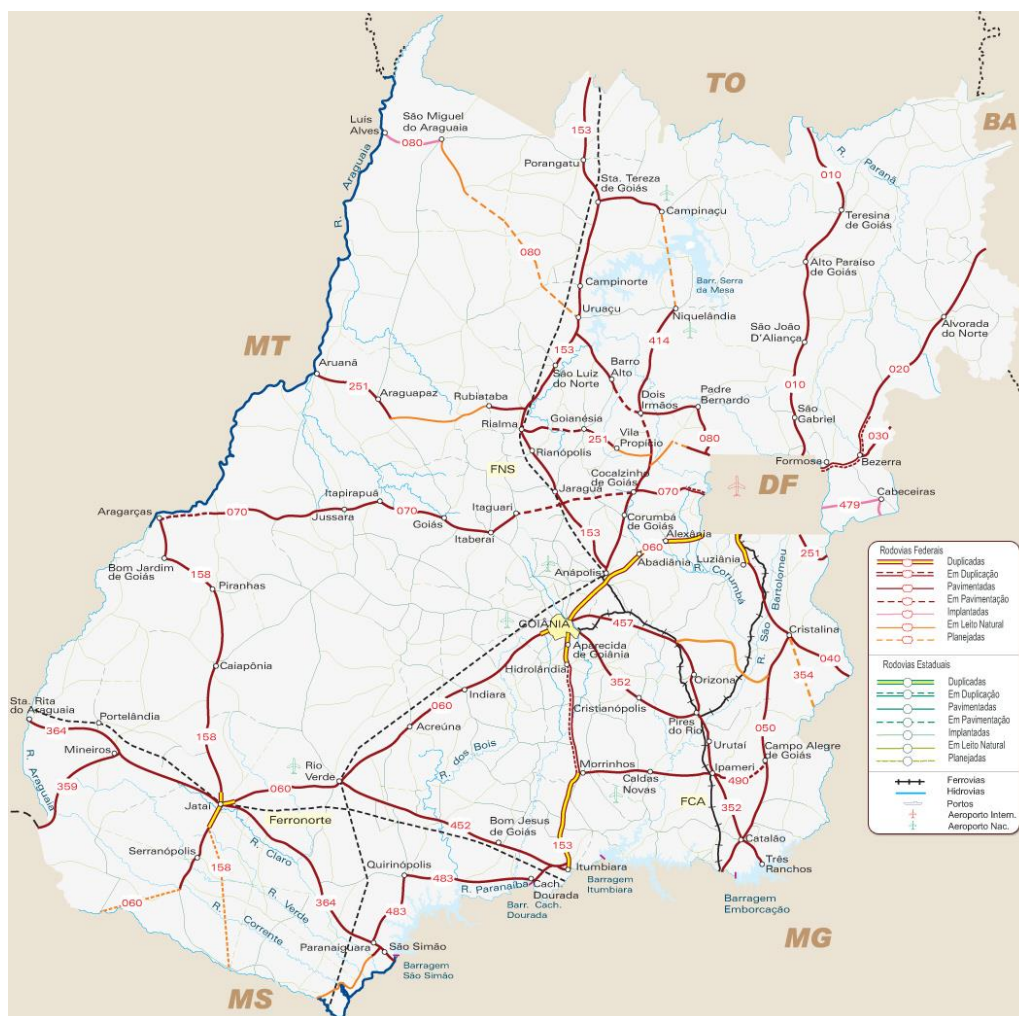
2. ESTUDO DE CASO

Cidade de Goiás, também conhecida como Goiás Velho, é uma cidade histórica e encantadora localizada no estado de Goiás, no Brasil. Fundada no século XVIII, a cidade preserva uma arquitetura colonial bem preservada que remonta à época do Brasil colonial. Suas ruas de paralelepípedos, casarões coloridos e igrejas antigas contam a história rica da região e proporcionam aos visitantes uma viagem no tempo. Não é à toa que a Cidade de Goiás é considerada Patrimônio Mundial da UNESCO, reconhecendo sua importância cultural e arquitetônica (UNESCO, 2023).

Além de seu patrimônio histórico, a cidade também é conhecida por suas festas tradicionais e culturais, como a Festa do Divino Espírito Santo e o Carnaval de Goiás Velho, que atraem visitantes de todo o país. A gastronomia local também é um destaque, com pratos típicos da região, como o empadão goiano e a pamonha, que encantam os paladares dos turistas (IBGE,2023).

Cidade de Goiás é um destino imperdível para quem deseja conhecer a rica história e cultura do Brasil, enquanto desfruta de uma atmosfera tranquila e pitoresca, em meio à beleza natural do cerrado goiano. Suas ruas históricas e a hospitalidade de seus habitantes fazem desta cidade um lugar especial para explorar e apreciar a autenticidade e a tradição do interior brasileiro (IBGE,2023).

Figura 1 – Mapa da Cidade de Goiás



Fonte: Brasil Turismo Mapas, 2023

Figura 2 – Planta Baixa do Local



Fonte: autor, 2023.

3.1 MATERIAIS E MÉTODOS

ANÁLISE DA CONSTRUÇÃO DO PRIMEIRO BATALHÃO DA PM NA CIDADE DE GOIÁS-GO

A avaliação do estado de conservação de um edifício histórico é fundamental para determinar quais elementos precisam ser preservados e quais requerem reformas. No entanto, como sou um modelo de linguagem e não tenho acesso a informações específicas sobre um edifício em particular, posso fornecer uma orientação geral sobre como essa avaliação pode ser feita. Alguns passos comuns no processo de avaliação:

1. Inspeção visual: Inicialmente, foi necessário realizar uma inspeção visual minuciosa das paredes, pilares e estrutura do telhado. Com manifestações Patológicas de desgaste, rachaduras, danos causados por infiltrações de água, deterioração da pintura, corrosão de elementos metálicos, entre outros.
2. Análise estrutural: Se houver preocupações com a integridade estrutural, é recomendável envolver um engenheiro especializado para realizar uma análise mais detalhada. Isso pode incluir a utilização de equipamentos como medidores de umidade, testes de resistência de materiais, análise de carga, entre outros.

3. Documentação fotográfica: Durante a inspeção, é importante documentar o estado atual das paredes, pilares e estrutura do telhado por meio de fotografias. Isso ajudará a fornecer uma referência visual ao longo do processo de preservação e reforma.
4. Avaliação de materiais: É necessário identificar os materiais utilizados na construção do edifício histórico. Isso pode incluir alvenaria, madeira, concreto, metais, entre outros. A avaliação do estado de conservação de cada material é crucial para determinar se eles podem ser preservados ou se requerem reparos ou substituições.
5. Priorização de intervenções: Com base na avaliação do estado de conservação, é possível priorizar as intervenções necessárias. Elementos em bom estado podem ser preservados e receber apenas trabalhos de manutenção, como limpeza, pintura ou consertos pontuais. Elementos danificados ou em estado precário podem requerer reformas mais extensas ou substituições.
6. Planejamento de intervenções: Com base nas prioridades estabelecidas, é necessário desenvolver um plano de intervenções que leve em consideração a preservação dos elementos históricos e a estabilidade estrutural. Esse planejamento deve incluir cronogramas, estimativas de custos e a contratação de profissionais especializados.

É importante ressaltar que a avaliação do estado de conservação de um edifício histórico requer conhecimentos técnicos especializados. Recomenda-se envolver profissionais qualificados, como engenheiros estruturais, arquitetos especializados em preservação de patrimônio histórico e especialistas em restauração, para obter uma avaliação precisa e embasar as decisões de preservação e reforma.

O prédio do Primeiro Batalhão da Polícia Militar da cidade de Goiás é um edifício histórico de grande importância. Ao realizar uma inspeção detalhada, foi constatado que a estrutura do edifício está em um estado estável de estruturação. No entanto, algumas questões merecem atenção e avaliação cuidadosa.

As paredes do edifício apresentam rachaduras, indicando a necessidade de intervenções para garantir sua estabilidade e segurança a longo prazo. Essas rachaduras podem ser causadas por diversos fatores, como o envelhecimento da estrutura, movimentações do solo ou falhas no projeto original. É essencial que um engenheiro estrutural seja consultado para realizar uma análise detalhada e determinar a extensão dessas rachaduras, sua causa subjacente e as medidas adequadas para sua reparação.

Figura 3 – Rachaduras das paredes

Fonte: Autor (2023)

Além disso, constatou-se que o edifício possui apenas uma sustentação de madeiras, que ao longo do tempo podem ter perdido parte de sua resistência original. A avaliação da condição dessas madeiras é crucial para determinar se elas podem ser preservadas ou se requerem reparos ou substituições. A ação de insetos xilófagos, como cupins, pode ter comprometido a integridade dessas estruturas de madeira, exigindo tratamentos específicos e, em alguns casos, substituições parciais ou totais.

Figura 4 – Sustentação de madeira do edifício

Fonte: Autor (2023)

Outro aspecto importante a ser considerado é o estado de conservação do acabamento tanto interno quanto externo do edifício. Com o passar do tempo, esses acabamentos podem ter sofrido desgaste e

deterioração significativos, afetando a aparência e a proteção do edifício. Pinturas descascadas, infiltrações de água e danos causados por intempéries são problemas comuns que podem comprometer a integridade dos materiais de revestimento. É necessário realizar uma avaliação minuciosa desses acabamentos para determinar a necessidade de restauração ou substituição.

Figura 5 – Visão do acabamento externo e interno do edifício



Fonte: Autor (2023)

A identificação de rachaduras nas paredes do prédio do Primeiro Batalhão da Polícia Militar da cidade de Goiás é um aspecto preocupante que requer atenção especializada. Essas rachaduras podem indicar problemas estruturais subjacentes que podem comprometer a estabilidade do edifício.

Uma análise aprofundada deve ser realizada para determinar a origem e a extensão dessas rachaduras, bem como o impacto delas na integridade estrutural. As rachaduras podem ser causadas por uma variedade de fatores, incluindo movimentação do solo, cargas excessivas, envelhecimento da estrutura ou problemas de projeto. A presença desses aspectos pode levar à perda de capacidade de carga e pode representar um risco para a segurança dos ocupantes e para a preservação do edifício histórico.

Além disso, é preocupante constatar que a sustentação do teto não possui uma laje estrutural. A falta de uma laje pode resultar em uma distribuição inadequada das cargas e na diminuição da capacidade de resistência do edifício. Essa falta de suporte estrutural adequado pode agravar os efeitos das rachaduras presentes nas paredes, uma vez que a carga do teto é transmitida diretamente para elas.

A deterioração geral do edifício também representa uma ameaça significativa. Com o tempo, a exposição aos elementos climáticos, como chuva, umidade e mudanças de temperatura, pode levar à deterioração dos materiais de construção, como alvenaria, madeira e argamassa. A deterioração pode

ocorrer em diferentes formas, incluindo a perda de resistência mecânica, a degradação química e biológica, além da deterioração estética. Esses processos de deterioração podem comprometer a estabilidade estrutural, a funcionalidade do edifício e a segurança dos ocupantes.

Uma das consequências comuns da deterioração é a infiltração de água. As rachaduras presentes nas paredes podem permitir a entrada de água, que, ao longo do tempo, pode causar danos adicionais aos materiais de construção, como enfraquecimento da argamassa, corrosão de elementos metálicos e apodrecimento da madeira. A infiltração de água também pode levar ao desenvolvimento de problemas de umidade, como o aparecimento de mofo e fungos, que não apenas comprometem a integridade do edifício, mas também podem representar riscos para a saúde dos ocupantes.

Além disso, verificou-se a questão da eletricidade do edifício, que não apresenta a estrutura adequada para fios e tomadas, deixando a fiação exposta, é motivo de grande preocupação em termos de segurança e preservação do patrimônio histórico.

Figura 6 – Sistema de fiação do edifício



Fonte: Autor (2023)

A exposição da fiação elétrica representa riscos significativos, tanto para os ocupantes do edifício quanto para a própria estrutura. A presença de fios desencapados e mal protegidos aumenta a probabilidade de acidentes, como choques elétricos, curto-circuitos e incêndios. Além disso, a exposição da fiação à umidade pode agravar ainda mais esses riscos, uma vez que a água é um condutor de eletricidade.

Essa situação também pode comprometer a integridade do edifício histórico, uma vez que a exposição da fiação elétrica pode causar danos às estruturas internas, como paredes e tetos, podendo levar à deterioração e perda de elementos arquitetônicos originais. Portanto, é fundamental abordar essa questão de forma adequada, considerando as diretrizes de preservação do patrimônio histórico, bem como as normas de segurança elétrica. É necessário encontrar soluções que garantam a segurança dos ocupantes e preservem a autenticidade do edifício, sem comprometer sua estrutura original.

Ao propor soluções para essa questão, é importante envolver profissionais especializados em restauro de edifícios históricos, juntamente com engenheiros elétricos, para avaliar cuidadosamente o contexto e propor as medidas mais adequadas.

Deve-se buscar soluções que sejam reversíveis, ou seja, que possam ser removidas ou modificadas sem causar danos irreversíveis à estrutura original do edifício. É essencial encontrar formas de acomodar a fiação elétrica de maneira segura e discreta, evitando a exposição desnecessária. Além disso, a utilização de materiais e técnicas compatíveis com a época da construção original é fundamental para preservar a estética e a autenticidade do edifício histórico.

Além dos problemas relacionados à eletricidade, a reparação das portas e janelas em um edifício histórico merece atenção especial devido ao fato de que esses elementos frequentemente são feitos de madeira, exigindo um cuidado mais detalhado. As portas e janelas desempenham um papel crucial na preservação da estética e da autenticidade do edifício histórico, além de desempenharem funções práticas, como a segurança e a proteção contra intempéries.

Figura 7-Estado das peças de madeiras das portas e janelas



Fonte: Autor (2023).

No caso de edifícios históricos, muitas vezes as portas e janelas originais são peças valiosas, com detalhes arquitetônicos e artísticos únicos, que devem ser preservados durante o processo de reparação. No entanto, com o passar do tempo, esses elementos podem apresentar problemas como deterioração, infestação de pragas, apodrecimento da madeira, desgaste dos encaixes e dobradiças, entre outros.

2.4 PROPOSTAS PARA SOLUCIONAR OS PROBLEMAS ENCONTRADOS

Para solucionar os problemas identificados no prédio do Primeiro Batalhão da Polícia Militar da cidade de Goiás, é necessário adotar uma abordagem abrangente, considerando as particularidades de cada questão. A seguir, apresento soluções detalhadas e técnicas para resolver esses problemas:

1. Rachaduras nas paredes:

- **Inspeção estrutural detalhada:** Com apoio de um engenheiro especialidade, deve-se realizar uma análise das rachaduras e identificar suas causas subjacentes. Isso envolverá avaliar a estabilidade das fundações, verificar o comportamento do solo, identificar possíveis movimentações estruturais e avaliar a resistência das paredes.
- **Tratamento das rachaduras:** Dependendo da natureza das rachaduras, podem ser adotadas diferentes soluções. Isso pode incluir o preenchimento das rachaduras com materiais adequados, como resinas epóxi, polímeros ou argamassa especial, de acordo com as

características e dimensões das rachaduras. Em casos mais complexos, pode ser necessária a injeção de materiais de reforço, como barras de aço ou fibras de carbono, para reforçar a estrutura.

- **Reforço estrutural:** Se a análise estrutural identificar uma perda significativa de capacidade de carga nas paredes, podem ser necessárias intervenções de reforço, como a adição de pilares, vigas ou tirantes. Essas soluções devem ser projetadas e executadas por engenheiros especializados, levando em consideração as características do edifício e as técnicas de construção histórica.
- **Reparo estético:** É importante também efetuar o reparo das rachaduras com argamassa de características e coloração semelhantes às existentes, a fim de manter a harmonia visual das paredes.

2. Falta de laje estrutural no teto:

- **Análise estrutural e projeto de laje:** Com a ajuda de engenheiros especializados, deve-se avaliar a capacidade de carga da estrutura existente e projetar uma laje adequada para o teto. Isso pode envolver o uso de lajes pré-fabricadas de concreto ou a construção de uma laje moldada in loco, dependendo das características estruturais do edifício.
- **Instalação da laje:** Com base no projeto elaborado, a instalação da laje deve ser realizada por profissionais qualificados, garantindo o correto posicionamento, ancoragem e acabamento da laje. É importante considerar o uso de materiais e técnicas compatíveis com a época da construção original para preservar a autenticidade do edifício.

3. Infiltração e problemas relacionados à deterioração:

- **Tratamento das infiltrações:** Inicialmente, é necessário que ocorra a identificação das áreas afetadas por infiltração de água e, após isso, elaborar medidas para evitar a entrada de umidade, como reparação de telhados, calafetagem de juntas e aplicação de impermeabilizantes nas áreas críticas.
- **Reparo e substituição de elementos deteriorados:** Em seguida, deve-se averiguar os materiais de construção afetados pela deterioração e adotar medidas adequadas. Isso pode incluir reparos pontuais, substituição parcial ou total de elementos danificados, utilizando materiais e técnicas compatíveis com a época da construção original.

- Melhoria do sistema de drenagem: É possível também verificar e melhorar o sistema de drenagem do edifício para evitar o acúmulo de água próxima às fundações. Isso pode envolver a instalação de canaletas, calhas, condutores pluviais e sistemas de drenagem adequados.

4. Restauração do acabamento interno e externo:

- Avaliação do estado do acabamento: Realizar uma análise minuciosa do estado do acabamento interno e externo, identificando as áreas desgastadas, danificadas ou com perda de integridade.
- Limpeza e remoção de revestimentos deteriorados: Efetuar a remoção cuidadosa de revestimentos deteriorados, como pinturas descascadas, rebocos soltos ou azulejos danificados.
- Reparo e restauração do acabamento: Realizar o reparo das superfícies danificadas, aplicando rebocos, argamassas e revestimentos compatíveis com a época da construção original. É importante preservar o estilo arquitetônico e a estética histórica do edifício.
- Proteção e conservação: Aplicar revestimentos de proteção, como vernizes, selantes ou tintas especiais, para garantir a durabilidade e a resistência do acabamento restaurado.

A questão da eletricidade em um edifício histórico é extremamente importante para garantir a segurança dos ocupantes e preservar a integridade do próprio edifício. A falta de estrutura adequada para fios e tomadas, resultando na exposição da fiação elétrica, representa um risco significativo de acidentes e incêndios. Para resolver essa questão, são necessárias medidas adequadas, considerando as características do edifício histórico. Algumas soluções técnicas que podem ser adotadas foram listadas a seguir:

1. Avaliação da instalação elétrica existente:

- Realizar uma avaliação completa da instalação elétrica existente para identificar os problemas de segurança e deficiências na infraestrutura.
- Verificar a conformidade com as normas elétricas atuais e avalie se a capacidade elétrica suporta a demanda atual e futura do edifício.

2. Projeto elétrico adequado:

- Contratar um profissional qualificado em projetos elétricos para elaborar um projeto específico para o edifício histórico, levando em consideração as restrições arquitetônicas e estruturais.

- O projeto deve contemplar a distribuição correta dos pontos de energia, dimensionamento adequado dos condutores elétricos, utilização de dispositivos de proteção contra sobrecarga e curto-circuito, entre outros aspectos relevantes.

3. Adequação da infraestrutura:

- Implementar uma infraestrutura adequada para acomodar a fiação elétrica de forma segura e discreta, sem comprometer a estética do edifício.
- Utilizar canaletas, conduítes ou elementos estruturais existentes, como vigas, para passagem da fiação, mantendo-a protegida e afastada de contato com pessoas e água.

4. Proteção contra curto-circuito e incêndios:

- Instalar dispositivos de proteção, como disjuntores, fusíveis e DPS (Dispositivos de Proteção contra Surto), para evitar sobrecargas elétricas e curto-circuitos que possam causar incêndios.
- Fazer o uso de cabos elétricos adequados, resistentes ao fogo e com isolamento adequado para evitar o risco de incêndios.

5. Manutenção e inspeção periódica:

- Estabelecer um programa regular de manutenção elétrica, incluindo inspeções periódicas para identificar problemas potenciais, como fiação danificada, mau contato ou desgaste dos dispositivos de proteção.
- Realizar reparos e substituições sempre que necessário, garantindo que a instalação elétrica esteja em conformidade com as normas de segurança.

Por fim, referente ao último problema identificado, que trata da reparação das portas e janelas de madeira, este também é um trabalho que requer um minuciosidades e qualificação. É essencial seguir os princípios de conservação e as diretrizes estabelecidas para a preservação do patrimônio histórico.

Algumas medidas que podem ser adotadas durante a reparação incluem:

- Avaliação completa: Realizar uma avaliação detalhada das condições das portas e janelas, identificando quais partes precisam ser reparadas ou substituídas.
- Restauração da madeira: Proceder à limpeza cuidadosa da madeira, removendo camadas antigas de tinta ou verniz, utilizando técnicas adequadas de conservação. É importante preservar as características originais da madeira.

- Reparo das partes danificadas: Realizar o reparo das partes danificadas, utilizando técnicas tradicionais de marcenaria, como preenchimento de rachaduras, substituição de partes irre recuperáveis e conserto de encaixes e dobradiças.
- Proteção contra pragas e umidade: Aplicar tratamentos específicos para proteger a madeira contra pragas, como cupins e fungos, além de utilizar produtos de proteção contra a umidade, garantindo a durabilidade das portas e janelas.
- Conservação estética: Utilizar tintas, vernizes ou produtos de acabamento compatíveis com a época da construção original, respeitando a estética e as características arquitetônicas do edifício histórico.

É fundamental ressaltar que todas essas soluções devem ser desenvolvidas por profissionais altamente especializados em restauro de edifícios históricos, levando em consideração as características arquitetônicas, as técnicas construtivas originais e as diretrizes de preservação do patrimônio histórico. Portanto, é imprescindível contar com uma equipe multidisciplinar composta por profissionais experientes e qualificados em suas respectivas áreas de atuação.

Para garantir o sucesso da restauração, é necessário envolver profissionais como um engenheiro civil especializado em estruturas históricas, capaz de realizar uma análise detalhada da estabilidade do edifício e propor soluções adequadas para reparos estruturais. Além disso, a presença de um arquiteto especializado em patrimônio histórico é indispensável para conduzir o projeto de restauração, considerando os aspectos estéticos e históricos do edifício.

No que diz respeito à questão elétrica, é essencial contar com a expertise de um eletricitista ou engenheiro elétrico capacitado em sistemas elétricos para edifícios históricos. Esses profissionais serão responsáveis por projetar e implementar instalações elétricas adequadas, levando em consideração as limitações estruturais do edifício e garantindo a segurança dos ocupantes.

Para lidar com os problemas de pintura e acabamento, é recomendável ter um pintor especializado em restauração de edifícios históricos. Esse profissional será responsável por realizar a remoção cuidadosa das camadas de tinta antigas, reintegrar a pintura original quando necessário e aplicar acabamentos compatíveis com a época da construção.

A restauração das portas e janelas de madeira exigirá a presença de um especialista em trabalhos com madeira, como um marceneiro. Esse profissional possui o conhecimento técnico necessário para

avaliar o estado da madeira, realizar reparos adequados e aplicar tratamentos de preservação, garantindo a autenticidade e a durabilidade desses elementos essenciais.

No que se refere à alvenaria, um profissional especializado em restauração de alvenaria será responsável por realizar os reparos necessários nas paredes, pilares e fachadas do edifício. Esses especialistas utilizam técnicas tradicionais de construção, como argamassas especiais e métodos de fixação apropriados, para preservar a integridade estrutural e a estética original do edifício histórico.

Além desses profissionais, é importante contar com uma equipe de apoio, como pedreiros, serventes, entre outros, que possuam experiência em trabalhos de restauração e que estejam familiarizados com as técnicas tradicionais de construção e materiais históricos. Ao unir todos esses profissionais em uma equipe de restauração, é possível garantir que as intervenções necessárias sejam executadas com excelência, preservando o valor histórico do edifício e assegurando a segurança de seus ocupantes. A colaboração e a expertise de cada especialista são essenciais para alcançar resultados satisfatórios e promover a devida preservação desse patrimônio cultural tão importante.

2.5 BENEFÍCIOS DA REPARAÇÃO HISTÓRICA

A reparação do edifício histórico do Primeiro Batalhão da Polícia Militar de Goiás trará uma série de pontos positivos para a sociedade. Abaixo estão alguns dos benefícios que essa restauração pode proporcionar:

Preservação do patrimônio cultural: O edifício histórico do Primeiro Batalhão da PM de Goiás é parte importante do patrimônio cultural da região. Sua restauração permitirá preservar e valorizar a história e a identidade da comunidade local. Ao manter e revitalizar esses locais históricos, estamos salvaguardando a memória coletiva e transmitindo-a para as futuras gerações.

Valorização da história e do turismo: A restauração do edifício histórico tornará o local atraente para visitantes e turistas interessados em conhecer a arquitetura, a cultura e a história da região. Isso pode impulsionar o turismo local, contribuindo para o desenvolvimento econômico da área e gerando oportunidades de negócios para os moradores locais (REIS, 2015).

Reabilitação urbana: A revitalização de um edifício histórico muitas vezes desencadeia um efeito positivo na área ao seu redor. A reparação do Primeiro Batalhão da PM de Goiás pode motivar outras iniciativas de reabilitação urbana, promovendo a renovação de espaços públicos e privados adjacentes. Isso pode levar ao surgimento de novos comércios, restaurantes, espaços culturais e atividades que beneficiem a comunidade local (MARQUES; LEITE, 2008).

Geração de empregos: A restauração de edifícios históricos requer a contratação de uma equipe multidisciplinar de profissionais especializados, como arquitetos, engenheiros, pintores, marceneiros, entre outros. Essa demanda por mão de obra especializada pode gerar empregos locais e impulsionar a economia da região (SILVA; OLIVEIRA, 2018).

Melhoria da qualidade de vida: A reparação do edifício histórico pode contribuir para a melhoria da qualidade de vida da comunidade local. Além de resgatar a identidade cultural, a restauração proporcionará espaços mais seguros, funcionais e esteticamente agradáveis. Isso pode promover um sentimento de orgulho na comunidade, fortalecendo o senso de pertencimento e bem-estar (PICANÇO, 2009).

Educação e conscientização: A restauração do edifício histórico pode servir como uma oportunidade educacional, permitindo que estudantes e a população em geral aprendam sobre a história, arquitetura e técnicas de conservação. Essa conscientização pode despertar um maior interesse na preservação do patrimônio cultural e incentivar a participação ativa da sociedade na proteção desses locais (BASTIANI; PUPO, 2015).

Sendo assim, verifica-se que a reparação do edifício histórico do Primeiro Batalhão da PM de Goiás trará inúmeros benefícios para a sociedade, como a preservação do patrimônio cultural, o fortalecimento do turismo local, a reabilitação urbana, a geração de empregos, a melhoria da qualidade de vida e a educação e conscientização da comunidade. Esses pontos positivos repercutirão de forma significativa, enriquecendo a vida dos moradores locais e contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região.

2.6 VALOR APROXIMADO DO ORÇAMENTO PARA REALIZAÇÃO DA REFORMA

O cálculo do orçamento é uma etapa fundamental em qualquer processo de construção e reforma, pois permite estimar os custos envolvidos. No entanto, para obter uma estimativa mais precisa, é necessário realizar o cálculo em um momento mais próximo das atividades de reforma, levando em consideração a complexidade da obra, as condições do edifício e outros fatores técnicos relevantes. Diversos aspectos podem influenciar os custos, como a extensão dos danos estruturais identificados no levantamento técnico, a necessidade de materiais especializados para a restauração de elementos arquitetônicos históricos e a complexidade das instalações elétricas e hidráulicas a serem atualizadas. Além disso, os preços dos materiais de construção e dos serviços de mão de obra podem variar de acordo com a região geográfica, a disponibilidade dos produtos no mercado e as flutuações

econômicas sazonais. Portanto, é imprescindível realizar cotações detalhadas e consultar profissionais especializados, como engenheiros, arquitetos e empreiteiros, para obter estimativas mais precisas e atualizadas para cada etapa da obra de reparação do edifício histórico.

Também é importante considerar outros custos associados, como licenças e permissões, seguros e contingências. A obtenção das autorizações necessárias e a contratação de um seguro adequado são etapas essenciais para garantir a conformidade legal e a proteção do patrimônio histórico durante a execução da obra.

Diante disso, o cálculo orçamentário será realizado em momentos futuros, utilizando a tabela disponível no Anexo 1 como referência para organizar e detalhar os custos envolvidos na restauração do edifício histórico do Primeiro Batalhão da PM de Goiás.

3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Além das questões estruturais, a análise da construção do Primeiro Batalhão da Polícia Militar na cidade de Goiás-GO também revelou desafios relacionados à preservação de elementos arquitetônicos e históricos. O edifício apresenta características arquitetônicas que remontam a um período específico da história, e é fundamental preservar essas características para manter sua autenticidade e valor histórico. Isso envolve a restauração de elementos decorativos, como molduras, adornos e detalhes arquitetônicos que podem ter sofrido danos ao longo do tempo.

Outro aspecto relevante é a questão do telhado. A estrutura do telhado do edifício histórico difere das técnicas de construção modernas, e é necessário avaliar cuidadosamente a condição das telhas, das vigas de sustentação e do sistema de drenagem. Vazamentos ou danos no telhado podem resultar em infiltrações de água, o que representa uma ameaça significativa à preservação do edifício e à integridade de seus elementos históricos.

A partir dessas observações e análises preliminares, torna-se claro que a reforma do Primeiro Batalhão da Polícia Militar em Goiás-GO exigirá uma abordagem abrangente e multidisciplinar. A preservação das características históricas e arquitetônicas, juntamente com a garantia da segurança estrutural do edifício, será um desafio importante. Além disso, é fundamental observar as diretrizes estabelecidas pelo IPHAN e outras entidades reguladoras para garantir que as intervenções respeitem os padrões de preservação do patrimônio cultural.

Essa análise inicial destaca a complexidade e a importância do processo de preservação e reforma de edifícios históricos, especialmente aqueles que desempenham um papel significativo na história e na

cultura de uma região. É essencial que todos os passos subsequentes do projeto de reforma sejam conduzidos por profissionais qualificados e em conformidade com as regulamentações relevantes, a fim de garantir a preservação bem-sucedida desse patrimônio cultural valioso.

A análise do estado de conservação do acabamento interno e externo do edifício histórico do Primeiro Batalhão da Polícia Militar na cidade de Goiás-GO revelou vários aspectos preocupantes. Um dos principais achados diz respeito ao desgaste e à deterioração significativos dos acabamentos ao longo do tempo. Problemas como pinturas descascadas, infiltrações de água e danos causados pelas intempéries foram identificados, afetando tanto a aparência quanto a proteção do edifício. Isso levanta a necessidade de realizar uma avaliação minuciosa desses acabamentos para determinar se é necessário empreender ações de restauração ou substituição.

No que diz respeito às rachaduras nas paredes, este achado é particularmente preocupante, pois pode indicar problemas estruturais subjacentes que afetam a estabilidade do edifício. A análise aprofundada é essencial para determinar a origem e a extensão das rachaduras, bem como seu impacto na integridade estrutural. As rachaduras podem resultar de uma variedade de fatores, e a presença delas pode representar um risco para a segurança dos ocupantes e a preservação do edifício histórico.

Além disso, a ausência de uma laje estrutural para sustentar o teto é uma questão crítica que afeta a distribuição de cargas e a capacidade de resistência do edifício. Isso agrava os efeitos das rachaduras presentes nas paredes, uma vez que a carga do teto é transmitida diretamente para elas, o que pode comprometer ainda mais a estabilidade.

A deterioração geral do edifício devido à exposição aos elementos climáticos, como chuva, umidade e mudanças de temperatura, é outra preocupação significativa. A deterioração pode afetar diversos materiais de construção, incluindo alvenaria, madeira e argamassa, comprometendo a estabilidade estrutural, a funcionalidade do edifício e a segurança dos ocupantes.

A infiltração de água, que frequentemente ocorre devido às rachaduras nas paredes, pode causar danos adicionais aos materiais de construção, enfraquecendo a argamassa, corroendo elementos metálicos e apodrecendo a madeira. Além disso, a infiltração de água pode levar ao desenvolvimento de problemas de umidade, como mofo e fungos, representando riscos para a saúde dos ocupantes.

A exposição da fiação elétrica do edifício, com fios desencapados e mal protegidos, é uma questão crítica de segurança tanto para os ocupantes quanto para a estrutura do edifício. Essa exposição

aumenta o risco de acidentes, como choques elétricos, curto-circuitos e incêndios, além de poder causar danos às estruturas internas, comprometendo elementos arquitetônicos originais.

Portanto, a análise desses achados ressalta a complexidade e a urgência da preservação e reforma do edifício histórico. A necessidade de intervenções especializadas, que levem em consideração as diretrizes de preservação do patrimônio histórico e as normas de segurança, é crucial para garantir a segurança dos ocupantes e a preservação da autenticidade do edifício. Além disso, a reversibilidade das soluções propostas e o envolvimento de profissionais qualificados são aspectos fundamentais a serem considerados no processo de restauração e preservação desse importante patrimônio histórico.

4 CONCLUSÃO

Nesta pesquisa, foi explorada a análise da reforma do Primeiro Batalhão da Polícia Militar na Cidade de Goiás, Estado de Goiás, evidenciando a significativa complexidade e importância do projeto. Iniciando com a ênfase da relevância do tema escolhido, foram abordados os desafios de natureza estrutural, orçamentária e logística envolvidos na revitalização de uma construção histórica que desempenha um papel fundamental na segurança pública da comunidade local.

A edificação, por seu valor histórico e arquitetônico, exige adaptações criteriosas às diretrizes do IPHAN, ao mesmo tempo em que enfrenta desafios contemporâneos relacionados à funcionalidade e modernização dos serviços prestados.

Os objetivos específicos, que incluíram a avaliação do estado de conservação das estruturas, a identificação da mão de obra especializada necessária, a proposição de melhorias nos espaços internos, a análise dos benefícios para a sociedade e a elaboração de um orçamento aproximado, estabeleceram uma abordagem completa e prática para lidar com os desafios da reforma.

Em última análise, a relevância deste estudo transcende o âmbito da engenharia civil, destacando a importância da preservação do patrimônio histórico e cultural em benefício de uma cidade tombada como patrimônio cultural da humanidade.

REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15575-1, Edificações Habitacionais Desempenho. Parte 1, Requisitos gerais. 2008. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/curs.aspx?ID=157>>. Acesso em: 06 jun. 2023.
- BARBOSA, Frederico Celestino. Engenharia: a máquina que constrói o futuro. Piracanjuba -GO, 2022.
- BASTIANI, Jamile de; PUPO, Regiane T. Materializar para informar e conscientizar. Blucher Design Proceedings, v. 2, n. 3, p. 161-166, 2015.
- BRASIL. Decreto-Lei nº 25, de 30 de novembro de 1937. Organiza a proteção do patrimônio histórico e artístico nacional. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/del0025.htm>. Acesso em: 06 jun. 2023.
- GASPARY, Fernanda Peron. O retrofit sustentável como uma estratégia para a reabilitação consciente do patrimônio cultural arquitetônico. 2012. 131f. Dissertação (Mestrado em Patrimônio Cultural) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2012.
- Governo do Estado de Goiás, Governador vistoria reforma do Batalhão da PM, na cidade de Goiás, Goiás, 11 set 2020, disponível em: <<https://www.goias.gov.br/servico/91-obras/122937-governador-vistoria-reforma-do-batalhao-da-pm,-na-cidade-de-goias>>. Acesso em 15 mar 2023.
- GHIRARDELLO, Nilson; SPISSO, Beatriz (Org.) Patrimônio histórico: como e por que preservar. Bauru, SP: Canal 6, 2008.
- GUIMARÃES, Mariana Emidio. Uma análise para retrofit da envoltória tombada visando a eficiência energética do Aeroporto Santos Dumont - Rio de Janeiro. 2017. 158f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017.
- IOSHIMOTO, Eduardo. Incidência de Manifestações Patológicas em Edificações Habitacionais. São Paulo: IPT, 1994 (publicação 2182).
- IPHAES-RS, Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Estadual. Patrimônio Edificado - Considerações sobre sua preservação. 2ª edição, 2009.
- IPHAN, Instituto do Patrimônio Artístico e Histórico. Manual de elaboração de projetos. Programa Monumenta. Cadernos Técnicos. Brasília, DF 2005. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/CadTec1_Manual_de_Elaboracao_de_Projetos_m.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2023.
- _____. Manual elaboração de projetos para intervenções em bens culturais móveis e integrados. Brasília, DF, 2018. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Texto%20Manual_ConsultaPublica.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2023.
- KNOP, Stifany. Comportamento termo energético de edificação histórica com novo uso na cidade de Pelotas: O Caso do Casarão 02 – Secretaria Municipal da Cultura. 2012. 143f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Programa de Pós Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2012.

MAA, Ministério do Meio Ambiente. Guia Prático de Eficiência Energética: Reunindo a experiência prática do projeto de etiquetagem. Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Cultura. Brasília: MMA, 2014. 93p.

MARQUES, Juliana; LEITE, Carlos. Clusters como novas possibilidades de regeneração urbana e reestruturação produtiva: O caso do Porto Digital, Recife. Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, v. 5, n. 1, 2008.

PERES, Rosinela Martins. Levantamento e Identificação de Manifestações Patológicas em Prédio Histórico. Porto Alegre, 2001.

PICANÇO, Valéria Maria Pereira Alves. Preservação patrimonial X qualidade de vida: avaliação pós-ocupação no programa monumental: Centro histórico de Natividade - Tocantins. 2009. 171f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Programa de Pesquisa e Pós-Graduação Interinstitucional entre a Universidade de Brasília e a Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2009.

REIS, Rosana Santana. Acessibilidade a edifícios históricos de interesse turístico por pessoas com mobilidade reduzida: um estudo de exemplos representativos situados na Rota Acessível do Centro Histórico de Salvador. 2016. 188f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

SILVA, Camila de Abreu; OLIVEIRA, Pedro Felipe Gomes de. Estudo de caso sobre os aspectos da reabilitação urbana versus reabilitação de edifícios em diferentes obras de construção civil. In: VI Conferência sobre Patologia e Reabilitação de Edifícios, 2018. Disponível em: <<https://www.nppg.org.br/patorreb/files/artigos/80587.pdf>>. Acesso em: 07 jun. 2023.

ANEXO 1

MODELO DE TABELA PARA CÁLCULO DO ORÇAMENTO DA REFORMA

Tabela 2 – Serviços e materiais a serem utilizados na obra com seus respectivos valores aproximados

Descrição	Valor Aproximado (R\$)
Levantamento técnico e projeto	R\$50.000,00
Engenheiro	R\$70.000,00
Arquiteto	R\$60.000,00
Marceneiro	R\$30.000,00
Pintor	R\$20.000,00
Eletricista/Engenheiro elétrico	R\$25.000,00
Pedreiros	R\$200.000,00
Outros serviços/materiais	
Reparação Estrutural	-
Materiais para reparos	R\$170.000,00
Serviços de mão de obra	R\$100.000,00
Revestimento de paredes	-
Argamassas especiais	R\$35.000,00
Pintura e acabamento	R\$25.000,00
Reparo e restauração de madeiras	-
Materiais para reparos	R\$30.000,00
Serviços de mão de obra	R\$50.000,00
Reabilitação do telhado	-
Materiais para telhado	R\$130.000,00
Serviços de mão de obra	R\$60.000,00
Instalações elétricas	-
Materiais para instalações	R\$150.000,00
Serviços de mão de obra	R\$60.000,00
Outros Custos	R\$30.000,00
Licenças e permissões	R\$25.000,00
Seguros	\$100.000,00
Contingências	R\$40.000,00
Total	R\$1.460.000,00

Fonte: Autor (2023).

Capítulo 6



10.37423/231108437

IDENTIFICAÇÕES E SOLUCÕES RELACIONADAS AS TRINCAS E FISSURAS NAS EDIFICAÇÕES EM ALVENARIA NA CIDADE DE SÃO LUÍS DE MONTES BELOS- GO

Matheus Viana de A. Silva

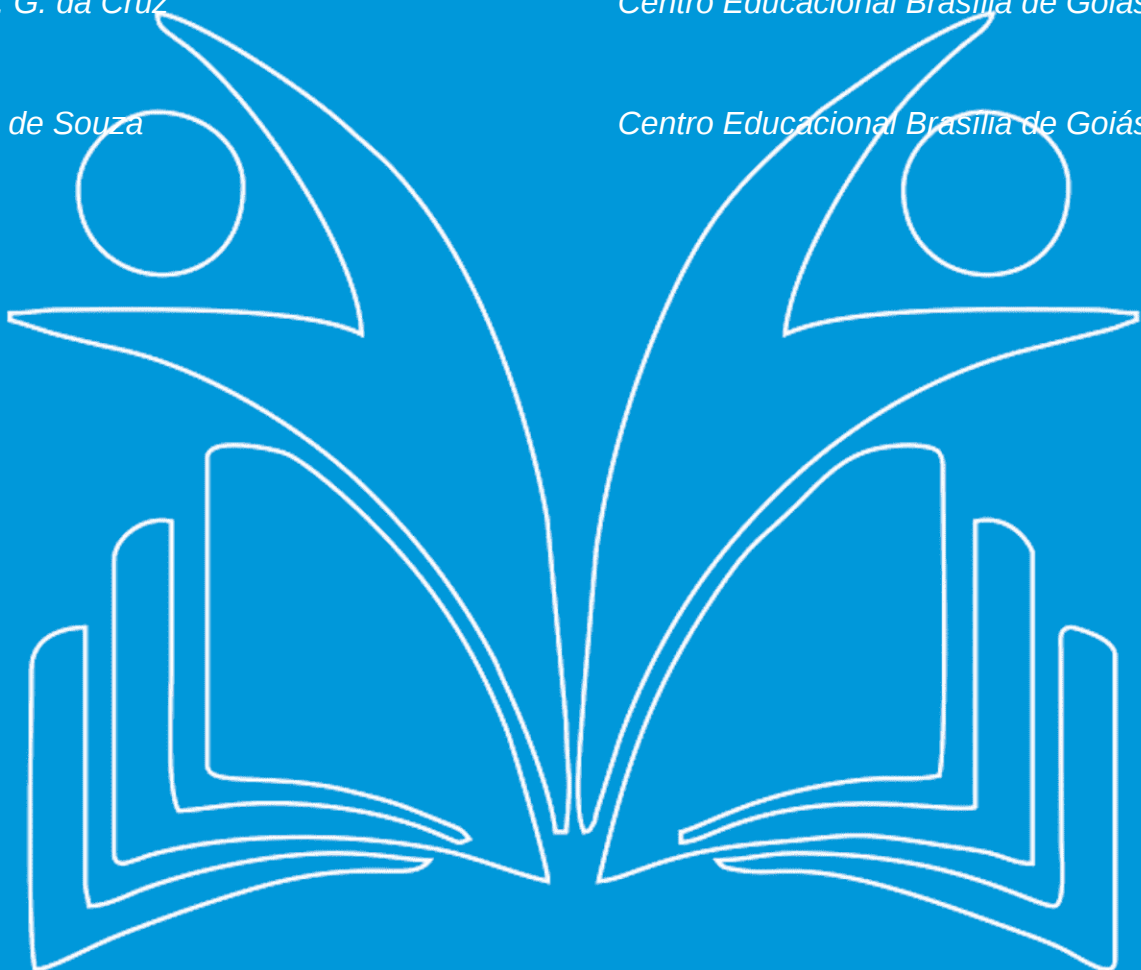
Centro Educacional Brasília de Goiás

Edivilson A. G. da Cruz

Centro Educacional Brasília de Goiás

Kátia Maria de Souza

Centro Educacional Brasília de Goiás



Resumo: Os objetivos principais do artigo é identificar, classificar e apresentar soluções as patologias em edificações, com o intuito de simplificar o processo de restauração e diminuir os custos. A metodologia adotada é o estudo de caso, onde as principais informações serão extraídas de artigos científicos, normas técnicas pertinentes e atualizadas e visitas técnicas. As movimentações causadas no solo devido ao uso de maquinários e equipamentos pesados para realizar a terraplanagem e compactação adequada de obras próximas ao objeto pode ser a causadora de recalque nas edificações aos arredores do canteiro da obra, chegando a causar trincas e fissuras na estrutura. O estudo de caso foi realizado na cidade de São Luís de Montes Belos- Go, as margens da GO – 060, na reforma de uma obra a (UPA) Unidade de Pronto Atendimento, pois a edificação apresentava várias patologias decorrentes de processos ineficientes durante a sua execução. Conforme estabelece as normas foi realizado um estudo e levantamento de dados para quantificar e definir as patologias, para possível solução e adequação de projeto.

Palavras-chave: Manifestações patológica; Normas; UPA; São Luís de Montes Belos.

1.INTRODUÇÃO

As manifestações patológicas nas construções estão cada vez mais em um número maior, isso se deve por conta da evolução nos meios de construção, projetos muitos ousados e ambiciosos do ponto de vista estrutural e que muitas das vezes, não tem um acompanhamento adequado na execução e no dimensionamento, seja mão de obra ou erros de projeto, causando grandes perdas para as edificações. (DUTRA, 2016).

Entre essas patologias, temos as trincas e fissuras, que são aberturas nas paredes, que causam uma desvalorização da construção, tanto estética quanto estrutural. As falhas mais comuns desses acontecimentos, são erros de projetos e erros de execução, como mal dimensionamento da estrutura e falta de mão de obra especializada. Na maioria a causa dessas patologias do ponto de vista estrutural, são recalques do solo, carga excessiva e também erros que acometem apenas a alvenaria de vedação, seja por erro de dimensionamento de materiais ou algum fator externo. (DUTRA, 2016).

O objetivo deste trabalho é abordar, por meio de estudos em algumas edificações, as causas de aparecimento das fissuras, analisando os mecanismos de formação das mesmas e algumas formas de reparos. Neste trabalho, as fissuras, trincas e rachaduras, são denominadas preferencialmente fissuras, variando somente a dimensão de suas aberturas. Pretende-se avaliar as configurações mais típicas das fissuras nas edificações, os principais fatores que levam ao aparecimento e os mecanismos pelos quais se desenvolvem, e dessa forma, estudar as maneiras de corrigi-las, pois são manifestações patológicas causadoras de muitos transtornos financeiros e administrativos.

1.1.METODOLOGIA

A metodologia adotada é de estudo de caso onde os contextos e informações sobre os assuntos abordados, serão extraídos de artigos científicos, normas técnicas pertinentes e atualizadas, além de referencial a trabalhos já realizados com mesma finalidade. Através de busca com palavras chaves de causas de fissuras e trincas, procedimentos recomendados para reparação.

1ª Etapa: Levantamento de dados e documentos da edificação: administrativos, técnicos, de manutenção e operação (plano, relatórios, históricos, etc).

2ª Etapa: Entrevista com proprietário e funcionários da obra para averiguação de informações sobre o uso da edificação, histórico de reforma e manutenção, dentre outras intervenções ocorridas.

3ª Etapa: Realização de vistorias na edificação.

4ª Etapa: Classificação das deficiências constatadas nas vistorias, por sistema construtivos, conforme a sua origem (anomalias construtivas, anomalias funcionais ou falhas de uso e manutenção).

5ª Etapa: Classificação dos problemas (anomalias e falhas) de acordo com o seu grau de risco. Esta classificação consiste na análise do grau de risco, considerados: fatores de conservação, rotinas de manutenção previstas, agentes de deterioração precoce, depreciação, riscos à saúde, segurança, funcionalidade e comprometimento da vida. Os graus de risco: crítico, regular e mínimo.

6ª Etapa: Elaboração de lista de prioridades técnicas, conforme a classificação do grau de risco de cada problema constatado.

7ª Etapa: Elaboração de recomendações ou orientações técnicas para a solução de problemas constatados.

8ª Etapa: Avaliação do Uso da edificação. Pode ser classificada em regular ou irregular. Observam-se as condições originais da edificação e os seus sistemas construtivos, além de limites de utilização e suas formas. Foram classificadas através do modelo metodológico da matriz gravidade, urgência e tendência (matriz GUT), que consiste em se atribuir notas para cada um desses critérios de acordo com o grau apurado, como pode-se ver no Quadro 1.

GRAU	GRAVIDADE	PESO
Total	Perdas de vidas humanas, do meio ambiente ou do próprio edifício	10
Alto	Ferimentos em pessoas, danos ao meio ambiente ou ao edifício.	8
Médio	Desconfortos, deterioração do meio ambiente ou do edifício.	6
Baixo	Pequenos incômodos ou pequenos prejuízos financeiros	3
Mínimo	Depreciação imobiliária	1
GRAU	URGÊNCIA	PESO
Total	Impacto no funcionamento da edificação ou atendimento imediato	10
Alto	Impacto no funcionamento do pavimento ou atendimento em curto prazo.	8
Médio	Impacto no funcionamento do setor ou atendimento em médio prazo.	6
Baixo	Impacto ao usuário ou atendimento em longo prazo.	3
Mínimo	Sem impacto na atividade ou atendimento não planejado	1
GRAU	TENDÊNCIA	PESO
Total	Evolução imediata.	10
Alto	Evolução em curto prazo.	8
Médio	Evolução em médio prazo.	6
Baixo	Evolução em longo prazo.	3
Mínimo	Não vai evoluir.	1

Quadro 1- Matriz GUT

Fonte: Adaptado de Gomide, 2

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEFINIÇÃO

O termo Patologia, de origem grega (páthos, doença, e lógos, estudo), é amplamente utilizado nas diversas áreas da ciência. Sua aplicação em áreas como de Ciências Biológicas é comumente contextualizado, por se tratar de estudos investigativos referentes às alterações estruturais e funcionais das células, dos tecidos e dos órgãos, provocados por doenças, (DA SILVA, 2011).

Essas patologias podem se manifestar de diversos tipos, tais como: trincas, fissuras, infiltrações e danos por umidade excessiva na estrutura. Por ser encontrada em diversos aspectos, recebe o nome de manifestações patológicas. Desta forma torna-se errôneo dizer que tratará as patologias, para Oliveira (2013) o correto é dizer tratamos os defeitos causados por ela e não ela propriamente dita.

Neste mesmo viés que Da Silva (2011) compara a patologia na construção civil com a medicina.

Este intercâmbio de terminologias vem das similaridades dos objetos de estudo destes dois tradicionais campos de formação, o ser humano e a edificação. É fácil traçar um paralelo e entender que o esqueleto humano compara-se à estrutura do edifício (Figura 1), onde a musculatura se assemelharia às alvenarias, a pele poderia ser comparada aos revestimentos, o sistema circulatório seria como as instalações elétricas, de gás, esgoto e água potável, enquanto que o aparelho respiratório seria o sistema de ventilação (janelas, ar condicionado, sistemas de exaustão etc.).



Figura 1-Estrutura de sustentação na medicina e na engenharia civil

Fonte: Da Silva, 2011

2.1 ANÁLISE DE RISCO

Análise de risco é um estudo realizado na fase de concepção, desenvolvimento de um projeto ou sistema, com a finalidade de se determinar os possíveis riscos que poderão ocorrer na fase de execução da obra e mitigá-los. Diferentemente de análise de perigo que avalia apenas a probabilidade e a intensidade de um evento acontecer, enquanto que o risco está intimamente ligado à vulnerabilidade, que é a probabilidade de ocorrência de um dado evento ligado às suas consequências físicas, econômicas e sociais (ALMEIDA, 2005).

2.2 NÍVEIS DE INSPEÇÃO

A Norma de Inspeção Predial Nacional do IBAPE (2022) classifica o nível de inspeção predial de acordo com o Quadro 2.

NÍVEL 1	Inspeção Predial realizada em edificações com baixa complexidade técnica, de manutenção e de operação de seus elementos e sistemas construtivos. Normalmente empregada em edificações com planos de manutenção muito simples ou inexistentes. A Inspeção Predial nesse nível é elaborada por profissionais habilitados em uma especialidade.
NÍVEL 2	Inspeção Predial realizada em edificações com média complexidade técnica, de manutenção e de operação de seus elementos e sistemas construtivos, de padrões construtivos médios e com sistemas convencionais. Normalmente empregada em edificações com vários pavimentos, com ou sem plano de manutenção, mas com empresas terceirizadas contratadas para execução de atividades específicas como: manutenção de bombas, portões, reservatórios de água, dentre outros. A Inspeção Predial nesse nível é elaborada por profissionais habilitados em uma ou mais especialidades.
NÍVEL 3	Inspeção Predial realizada em edificações com alta complexidade técnica, de manutenção e operação de seus elementos e sistemas construtivos, de padrões construtivos superiores e com sistemas mais sofisticados. Normalmente empregada em edificações com vários pavimentos ou com sistemas construtivos com automação. Nesse nível de inspeção predial, obrigatoriamente, é executado na edificação um Manutenção com base na ABNT NBR 5674. Possui, ainda, profissional habilitado responsável técnico, plano de manutenção com atividades planejadas e procedimentos detalhados, software de gerenciamento, e outras ferramentas de gestão do sistema de manutenção existente. A Inspeção Predial nesse nível é elaborada por profissionais habilitados e de mais de uma especialidade. Nesse nível de inspeção, o trabalho poderá ser intitulado como de Auditoria Técnica.

Quadro 2-Níveis de Inspeção Predial

Fonte: Adaptado de IBAPE, 2022.

2.3 CLASSIFICAÇÃO DAS DEFICIÊNCIAS

As anomalias e falhas constituem não conformidades que impactam na perda precoce de desempenho real ou futuro dos elementos e sistemas construtivos, e redução de sua vida útil projetada. Podem comprometer, portanto: segurança; funcionalidade; operacionalidade; saúde de usuários; conforto térmico, acústico e lumínico; acessibilidade, durabilidade, vida útil, dentre outros parâmetros de desempenho definidos na ABNT NBR 15575. As classificações podem ser relacionadas quanto às anomalias:

Endógena (AEN)- Originária da própria edificação. Os fatores endógenos ou internos são provenientes de irregularidades, de projeto ou de execução, ou de materiais utilizados, ou ainda, da combinação dessas etapas. Infiltrações, trincas, insuficiências de vagas de garagem, portas empenadas e outros problemas que devem ser reparados na fase de garantia do imóvel para evitar agravamentos posteriores.

Exógena (AEX)- Originária de fatores externos a edificação. Os fatores exógenos ou externos, provenientes da intervenção de terceiros na edificação, tais como os danos causados por obra vizinha, choques de veículos em partes da edificação, vandalismos, entre outros, podem ameaçar seriamente o prédio, sugerindo-se a imediata correção desses danos.

Natural (ANN)- Originária de fenômenos da natureza. Os fatores naturais provenientes da imprevisível ação da natureza, tais como as excessivas descargas atmosféricas, as enchentes, os tremores de terra e outros, podem causar danos que coloquem em risco a edificação, sendo conveniente a realização de vistoria técnica e orçamento, que consignem a extensão dos problemas e respectivos valores reparados, visando receber o pagamento correto do sinistro pela seguradora do prédio.

Funcional (ANF)- Originária do uso. Os fatores funcionais são aqueles decorrentes do uso inadequado, envelhecimento ou falta de manutenção, tais como as sujidades e desgastes dos revestimentos e fachadas, as incrustações e corrosões das tubulações hidráulicas, ataques de pragas urbanas (cupins), entre outras coisas, também podem ser evitados. Deve ser feito vistoria de fiscalização das conformidades de uso e manutenção, para posteriormente implantar um programa de manutenção com ações corretivas e preventivas.

2.4 FALHAS E ANOMALIAS

Quanto ao grau de risco oferecido aos usuários, meio ambiente e patrimônio, a norma de Inspeção Predial Nacional do IBAPE (2012) classifica em: crítico, regular e mínimo.

Crítico - Risco de provocar danos contra a saúde e segurança das pessoas e do meio ambiente; perda excessiva de desempenho e funcionalidade causando possíveis paralisações; aumento excessivo de custo de manutenção e recuperação; comprometimento sensível da vida útil.

Regular ou médio - Risco de provocar a perda parcial de desempenho e funcionalidade da edificação sem prejuízo à operação direta de sistemas e deterioração precoce.

Mínimo - Risco de causar pequenos prejuízos à estética ou atividade programável e planejada, sem incidência ou sem a probabilidade de ocorrência dos riscos críticos e regulares, além de baixo ou nenhum comprometimento do valor imobiliário.

2.5 NORMA DE DESEMPENHO

A Norma de Desempenho de Edificações é dividida em seis partes: uma de requisitos gerais da obra e outras cinco referentes aos sistemas que compõem o edifício (estrutural, de pisos, de cobertura, de

vedação e sistemas hidrossanitários). Para cada um deles a Norma estabelece critérios objetivos de qualidade e os procedimentos para medir se os sistemas atendem aos requisitos, conforme a Figura 2.

1-Estrutura: a Norma estabelece quais os critérios de estabilidade e resistência do imóvel, inclusive com métodos para medir que tipo de impactos a estrutura pode aguentar sem apresentar falhas ou rachaduras.

2-Sistema hidrossanitário: norma garante que todas as edificações devem estar ligadas a rede de esgoto ou possuir alternativas próprias de tratamento dos dejetos. Também diz que a pressão e peso das tubulações d'água devem suportar.

3-Pisos: devem aguentar a força de certos impactos especificados e manter níveis seguros contra escorregamento, para evitar acidentes domésticos.

4-Cobertura: o pé-direito mínimo de um imóvel deve ser de 2,5 metros de altura, com variações em banheiros e corredores.

5-Vedações: paredes externas e internas devem garantir a estanqueidade, proteção acústica contra sons externos e conforto térmico. A norma apresenta os níveis internos de variação de temperatura obrigatórios de acordo com cada região climática brasileira.

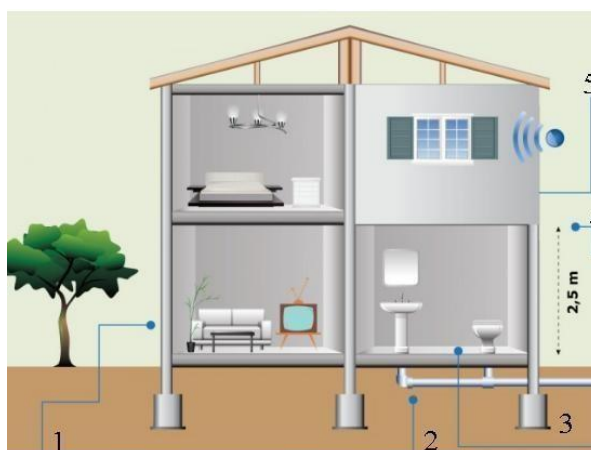


Figura 2-Padrões de qualidade

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA & MITIDIERI FILHO, 2012.

Segundo a NBR 15575 (2013), as obras têm que ter uma vida útil de no mínimo 50 anos, muitas vezes as edificações apresentam problemas muito antes deste prazo, (CAVALCANTE FILHO, 2010). Segundo os mesmos autores para edifícios habitacionais, 12 critérios de desempenho Quadro 3 baseados na norma ISO 6241 (1984) e adaptados para a realidade brasileira.

Itens	ISO 6221 (1984)	NBR 15575-1 (2013)
1	Estabilidade estrutural e resistência a cargas estáticas, dinâmicas e cíclicas	Desempenho estrutural
2	Resistência ao fogo	Segurança contra incêndio
3	Resistência à utilização	Segurança no uso e operação
4	Estanqueidade	Estanqueidade
5	Conforto higrotérmico	Desempenho térmico
6	Conforto acústico	Desempenho acústico
7	Conforto visual	Desempenho lumínico
8	Durabilidade	Durabilidade e manutenibilidade
9	Higiene	Saúde, higiene e qualidade do ar
10	Conforto tátil	Funcionalidade e acessibilidade
11	Conforto antropométrico	Conforto tátil e antropodinâmico
12	Qualidade do ar	Adequação ambiental

Quadro 3-Critérios de desempenho.

Fonte: Adaptado de CAVALCANTE FILHO, 2010.

2.6 CLASSIFICAÇÃO DAS FISSURAS

As fissuras podem ser classificadas de acordo com seu comportamento em ativas (vivas), quando aumentam ao longo do tempo, ou inativas (mortas), quando a fissura se encontra estabilizada. Desta forma, pode-se proceder à avaliação da gravidade do problema analisando.

Abertura da fissura (mm)	Intensidade de danos			Efeito na estrutura e no uso do edifício
	Residencial	Comercial ou público	Industrial	
< 0,1	Insignificante	Insignificante	Insignificante	Nenhum
0,1 a 0,3	Muito leve	Muito leve	Insignificante	Nenhum
0,3 a 1	Leve	Leve	Muito leve	Apenas estética; deterioração acelerada do aspecto externo.
1 a 2	Leve a Moderada	Leve a Moderada	Muito leve	
2 a 5	Moderada	Moderada	Leve	Utilização do edifício será afetada e, no limite superior, a estabilidade também pode estar em risco.
5 a 15	Moderada a severa	Moderada a severa	Moderada	
15 a 25	Severa a muito severa	Severa a muito severa	Moderada a severa	
> 25	Muito severa a perigosa	Severa a perigosa	Severa a perigosa	Cresce o risco de a estrutura tornar-se perigosa

Tabela 1-Relação entre abertura de fissuras e danos em edifícios

Fonte: VELLOSO e LOPES, 2011.

Olivari (2003) esclarece que a denominação da fissura também está relacionada à abertura, conforme Tabela 2.

Denominação	Abertura da fissura (mm)
Fissura capilar	Menos de 0,2 mm
Fissura	0,2 mm a 0,5 mm
Trinca	0,5 mm a 1,5 mm
Rachadura	1,5 mm a 5,0 mm
Fenda	5,0 mm a 10,0 mm
Brecha	Mais de 10,0 mm

Tabela 2-Denominação das fissuras

Fonte: Adaptado de OLIVARI, 2003.

3. ESTUDO DE CASO

Com base em artigos científicos e normas técnicas, como a NBR 15575-2 (2013), que classifica as patologias, como trincas e fissuras. O estudo de caso foi realizado na cidade de São Luís de Montes Belos, na finalização da (UPA) Unidade de Pronto Atendimento, situada às margens da GO – 060. Conforme os dados obtidos a construção da unidade, iniciou-se em 2012 com recursos repassados pelo Fundo Nacional de Saúde-FNS, e teve sua paralisação no mesmo ano. Porém em 2018 foi publicado o Decreto nº 9.380, de 22 de maio de 2018, que estabelece condições operacionais e financeiras para a readequação do investimento da rede física de saúde – SUS e teve avaliação e aprovação do Ministério da Saúde, repassando o recurso diretamente para o fundo municipal de Saúde de São Luís De Montes Belos. Devido ao tramites legais a retomada da construção se deu em janeiro de 2022, sendo previsto a sua finalização para dezembro de 2023.



Figura 3 – Fachada frontal

Fonte: UPA SLMB – 2023

O local se enquadra na categoria de uso comercial dotado de todos os melhoramentos públicos usuais: energia elétrica e iluminação pública, canalizações pluviais, ruas pavimentadas, serviço de correio, serviço telefônico, transporte coletivo, sistema de coleta de lixo, etc.

A unidade de Pronto Atendimento conta com mais de 70 salas modernizadas que serão divididas entre diversas áreas de atendimento à população como, consultórios, raio x, gases medicinais dentre outros, no total são 1.172,62 m² de área construída, conforme mostra a Figura 4.



Figura 4 - Built de projeto da edificação

Fonte: UPA SLMB – 2023

3.1 MÉTODO CONSTRUTIVO CONVENCIONAL

Neste estudo realizado, o termo alvenaria convencional se refere as construções mais comuns como obras comerciais e residenciais, que são feitas de tijolos maciços entre pilares, vigas e lajes de concreto armado, assim criando um esqueleto das paredes, separando ambientes e fachadas.

Em construções de alvenaria convencional, as trincas e fissuras, podem aparecer a qualquer momento, sendo assim as mais comuns entre as patologias, seja pelo declínio nos métodos contrutivos ou por causas naturais. Algumas fissuras são de difícil identificação, como as de 0,05 mm pois são muito

pequenas, e as vezes são agressivas dependendo do ambiente, pois elas evoluem, é muito importante conhecer para determinar a melhor solução.

De acordo com os dados colhidos da edificação a área afetada com trincas e fissuras somam 56,73 m² de toda a construção, conforme mostra à Figura 4.

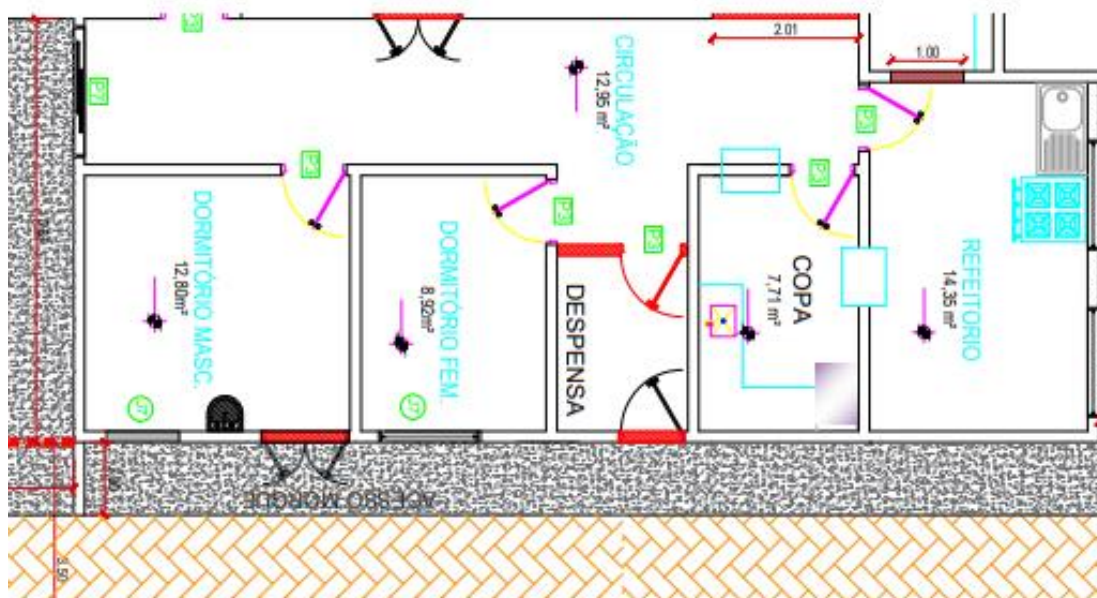


Figura 5 - Planta baixa da edificação (Área afetada)

Fonte: UPA SLMB – 2023

Foram encontradas as seguintes variações entre as aberturas, que possibilitam suas identificações e classificações, como demonstra à análise a seguir.

Em análise da identificação das aberturas encontradas foram encontradas fissuras de 0,3 mm a 1,0 mm e trincas de 1,2 mm a 2,3 mm.

Foram encontradas muitas fissuras causadas pelo recalque de fundação, esse é gerado quando há intervenções no adensamento do solo e, contudo, ocorre o rebaixamento da edificação, podendo apresentar manifestações patológicas visivelmente identificadas por fissuras com ângulo aproximado de 45° nas laterais de janelas e portas.

Conforme a análise feita, percebe-se que as trincas aparecem com mais frequência do que as fissuras.

Para compreender o problema será utilizado os seguintes dados da edificação.

1. Localização
2. Fluxo de movimentação na área

3.Fundação

Especificação

Identificação	Figura
Nas visitas feitas na edificação e nos projetos apresentados, nota-se que a obra foi locada sob um aterro e que posteriormente a construção houve terraplanagem no loteamento vizinho a edificação.	 A photograph showing a large, reddish-brown earthen embankment or fill area. In the background, a yellow excavator is visible, and a white building is partially seen on the right. The ground is uneven and appears to be a construction site.
Na elaboração dos projetos e planejamentos, não foram considerados o grande fluxo de máquinas pesadas do loteamento que existe atualmente no entorno da construção.	 A photograph showing a paved road or driveway next to a chain-link fence. In the background, there are trees and a cloudy sky. The pavement is dark and appears to be newly laid.
Indicação de Recalque da Fundação	 A close-up photograph of a concrete surface showing several diagonal cracks at a 45-degree angle. The cracks are dark and appear to be in the process of forming or widening.

Trinca em abertura de vão com indicação de falta de contra verga.



Figura 9 - Trincas a 45°, em fase de evolução – Localizada no (Refeitório). Reforço: Bloco 4, estacas 7 e 8, conforme a figura 13.

Rachadura em encontro de parede, canto, indicação de falta de Pilar.



Figura 10- Rachaduras de canto de parede Localizada no (Refeitório). Reforço: Bloco 1, estacas 1 e 2, conforme a figura 13.

Trinca em abertura de vão com indicação de falta de verga.



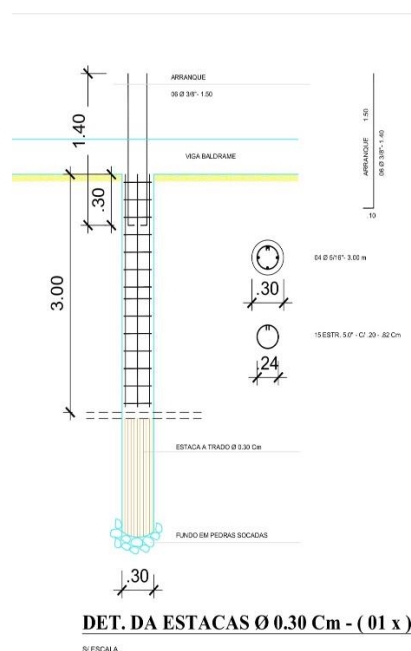
Figura 11 - Rachaduras em aberturas. Localizada na (Despensa). Reforço: Bloco 6, estacas 11 e 12, conforme a figura 13.

Trinca em abertura de vão com indicação de falta de verga.



Figura 12 - Rachaduras em aberturas

De acordo com o projeto a fundação da estrutura se apresenta da seguinte forma, estacas de 30 cm de diâmetro e 3 m de altura, amarradas a blocos 1,00x0,50 m.



Fonte: Própria, 2023

Geralmente, a configuração das fissuras provocadas por recalques diferenciais são normalmente inclinadas, muito parecidas com fissuras provocadas por deflexão de componentes estruturais. Observam-se também outras características das trincas de recalque que são esmagamentos localizados em forma de escamas e variação nas aberturas das fissura.

Após o levantamento dos dados, foi apresentado um projeto de reforço estrutural, pois a fundação da estrutura que foi construída sob o aterro, não resistiu a grande movimentação de máquinas pesadas ao seu intorno.

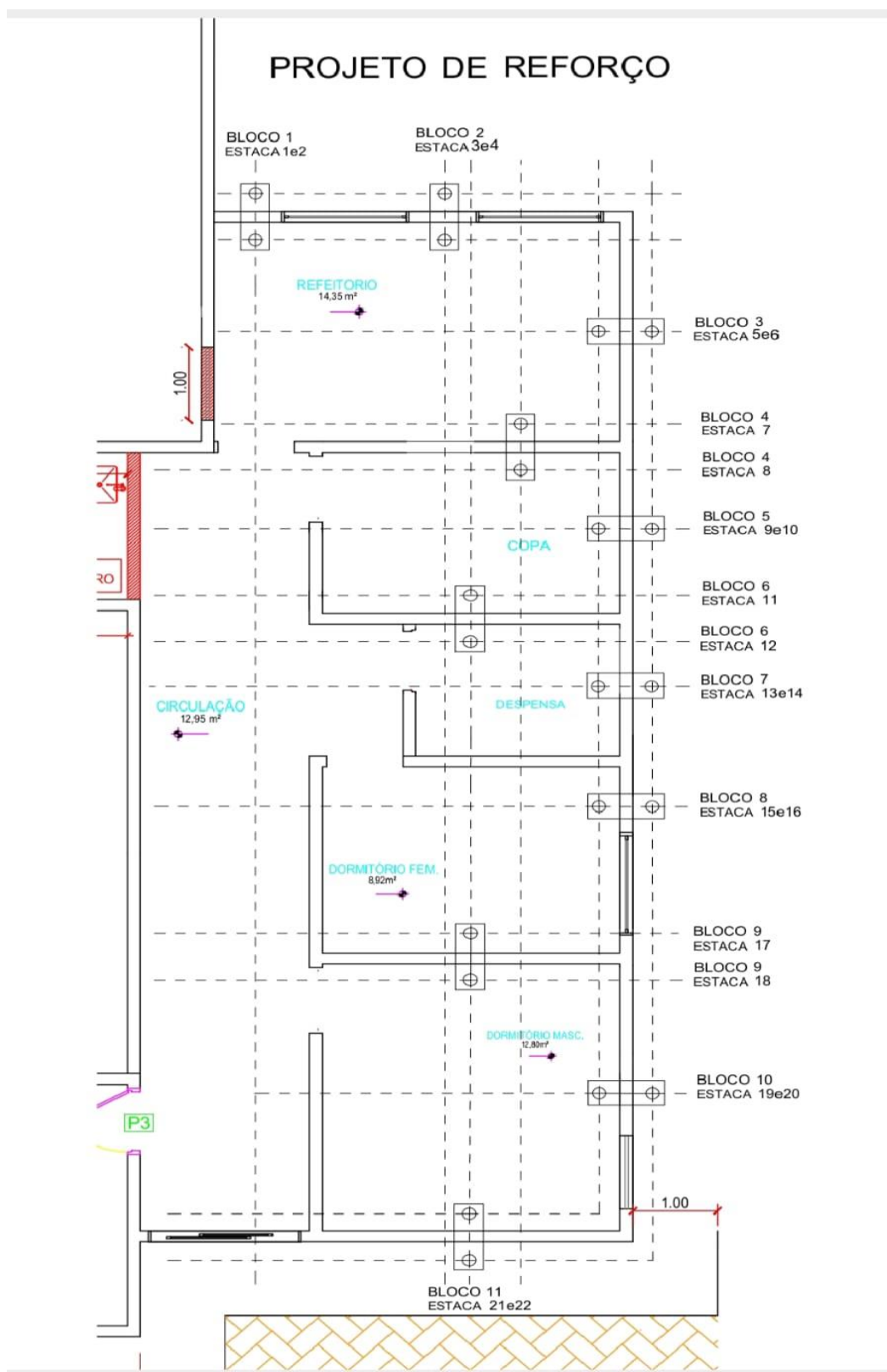


Figura 13 - Planta baixa (Projeto de reforço)

Fonte: UPA SLMB – 2023

Detalhamento do reforço

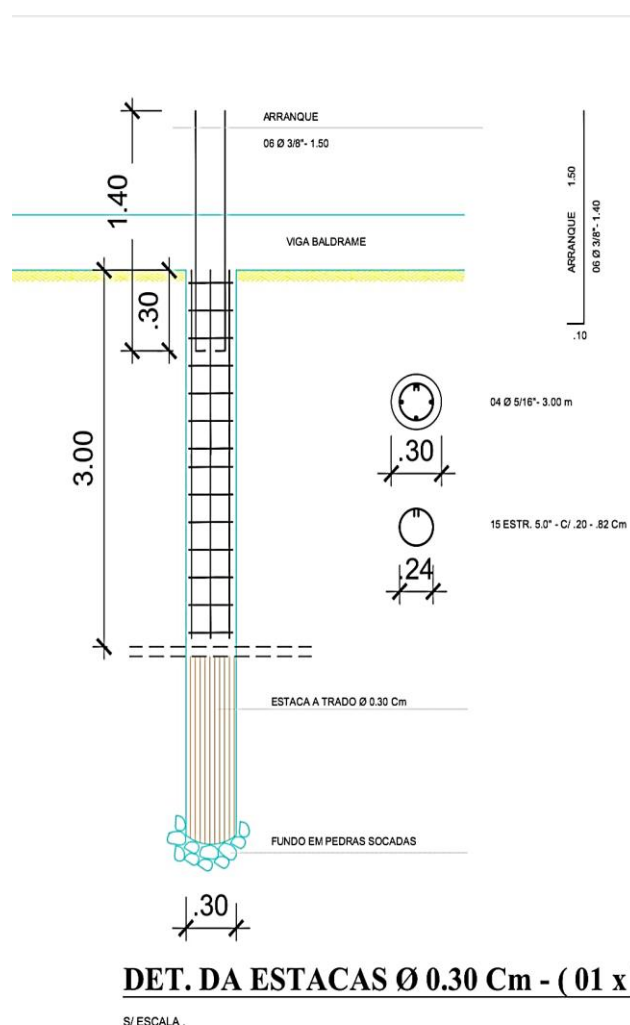


Figura 14 – Detalhamento do projeto de reforço

Fonte: UPA SLMB – 2023

Para resistir aos esforços gerados pela edificação o projeto de reforço estrutural efetuou as seguintes adequações de acréscimo de fundações profundas entre os vãos dos pilares já existentes, um reforço com estacas de 3 metros por 30 cm de diâmetro, amarradas a um bloco de 120x50 cm que passara abaixo da viga baldrame, onde o bloco será chumbado nos dois lados da viga, a função do bloco será distribuir os esforços gerados pelos pilares e estacas, os pilares que foram implementados também foram chumbados na viga de cintamento, garantindo uma boa funcionalidade da estrutura, impedindo o recalque e qualquer outra patologia estrutural, no total serão feitos 22 estacas de 3 metros e 11 blocos 120x50 cm, em uma área de 56,73 m². E também será necessário trocar todo o piso da área afetada, assim como a argamassa existente nas paredes.

3.3 RESULTADO

Com a execução do reforço nas fundações a estrutura, está resistindo os esforços, como o esperado, eliminando o risco de prejuízos futuros, com alvenarias, pinturas frequentes e trazendo maior segurança para os ocupantes da edificação, a Figura 15 mostrara o resultado.



Figura 15 – resultado da restauração

Fonte: UPA SLMB – 2023

CONCLUSÃO

Para Santos (2020) a deformação por escoamento lateral acontece com maior predominância em solos não coesivos. Da Silva Lemos et al (2021) complementam que trata-se da migração de solo de regiões mais solicitadas para as menos solicitadas, ou seja, o deslocamento se dá do centro para a lateral.

O presente trabalho abordou as manifestações patológicas, o seu conceito, a sua origem e os principais sintomas. Desta forma cumpriu-se com os objetivos propostos e destaca-se que o recalque diferencial

está diretamente ligado ao surgimento de patologias nas edificações e que o a sua análise e de extrema importância. O controle de recalque diferencial comprovou que a solução adotada para estabilização e movimento estrutural no solo foi ineficaz.

REFERÊNCIAS

FERREIRA, G. H. Fissuras em edificações de concreto armado: revisão e estudo de caso Disponível em: <MONOGRAFIA_FissurasEdificaçõesConcreto.pdf (ufop.br)>. Acesso em: 16 de outubro de 2021.

DA SILVA LEMOS, Luã; MENDES, Luiz Carlos. Análise de recalque em fundações profundas isoladas segundo métodos teóricos que utilizam somente o módulo de elasticidade longitudinal do solo. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 6, p. 60804-60828, 2021.

Dutra, Evandro Rocha. Manifestações Patológicas: Fissuras Monografia – Manifestações Patológicas: Fissuras. Causas; Diagnóstico; Recuperação B.H-Minas gerais 2016.

LAPA,J.S. Patologia, recuperação e reparo das estruturas de Concreto. 2008. 56 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

REIS, Vinícius Soares; GARCIA, W ilker Lemes. Patologias Causadas por Recalque Diferencial. Anais do 3º Simpósio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsoma. 2020; 879-891

ALMEIDA, R. Manifestações Patológicas em Prédio Escolar: uma análise qualitativa e quantitativa

SILVA, FERNANDO BENIGNO. Patologia das construções: uma especialidade na engenharia civilTECHNE 174-Setembro 2011.

SANTOS, Danilo Silva dos. Recalque em fundações profundas: análise da interação entre estacas de um edifício instrumentado do Recife. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

CAVALCANTI FILHO, A. N. ; Cavalcanti, Guilherme Augusto D`Araujo ; SELMO, S. M. S. . Avaliação da qualidade de concretos estruturais quanto à carbonatação e a cloretos por ensaios de ciclagem. In: 52 Congresso Brasileiro do Concreto, 2010, Fortaleza. Anais do 52 Congresso Brasileiro do Concreto. São Paulo: Ibracon, 2010. v. 52.

OLIVARIO, G. (2003) Patologia em edificações. Monografia (graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembi morumbi, São Paulo.

Capítulo 7



10.37423/231108443

MODELOS DE CURVA DE ESQUECIMENTO E SUA APLICAÇÃO NA PRODUÇÃO

José Ângelo Ferreira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Edson Luiz Valmorbida

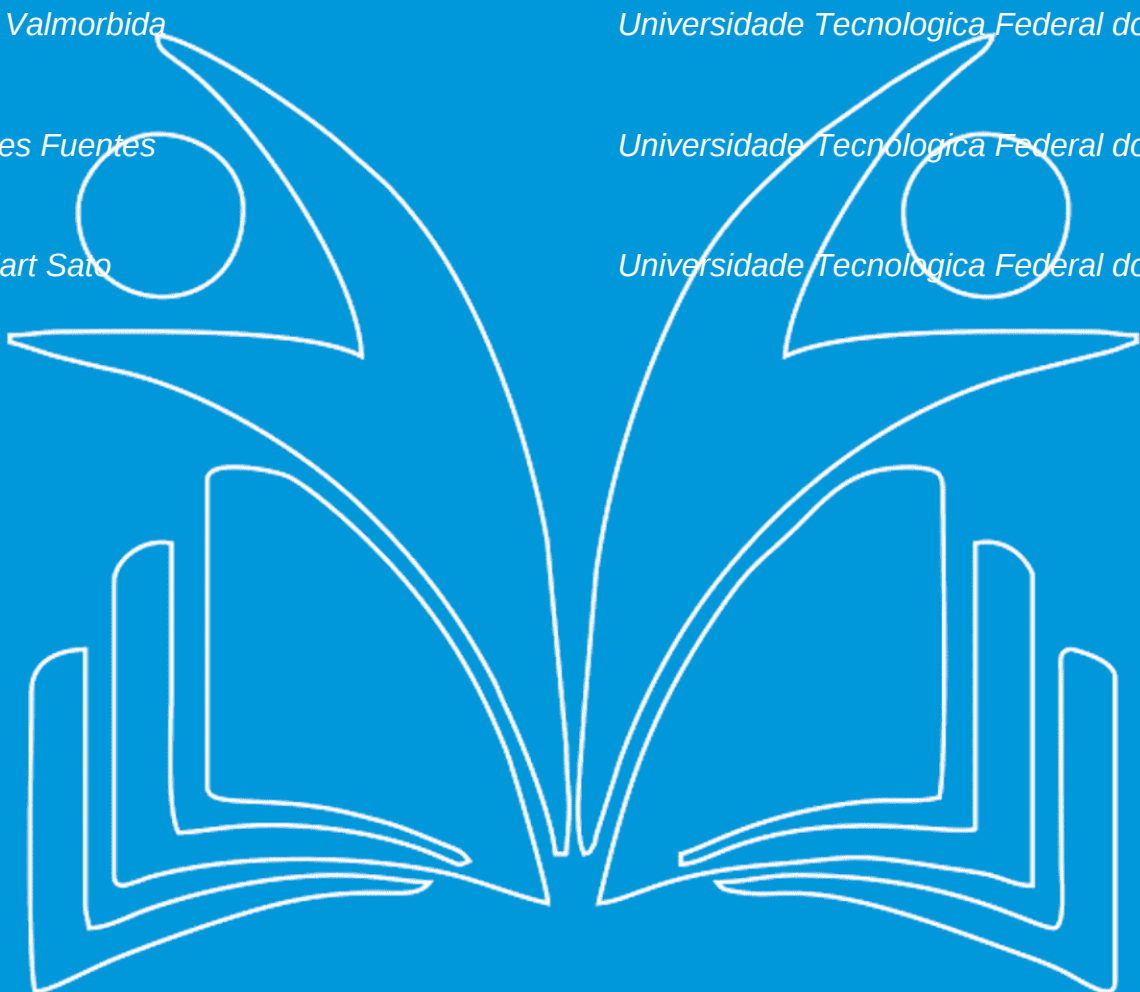
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Bruno Pontes Fuentes

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Bruno Goulart Sato

Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Resumo: As curvas de esquecimento que modelam esquecimento de um trabalhador, tem se mostrado, quando utilizadas em complemento as curvas de aprendizagem, uma ferramenta importante para a programação da produção, por permitirem a predição de entrega dos lotes de fabricação, ao computarem a perda de aprendizagem de um trabalhador, provocadas pelas interrupções no processo de fabricação. Este artigo apresentou uma revisão da literatura dos principais modelos de Curva de Esquecimento e suas aplicações, visando trazer contribuições gerenciais relevantes para o Planejamento e Controle da Produção, por possibilitar uma melhor utilização da capacidade produtiva ao compreender os impactos provocados pelo esquecimento na produtividade do trabalhador.

Palavras-chave: Curva do Esquecimento, Curva de Aprendizagem, Programação da Produção

1.INTRODUÇÃO

As primeiras investigações de aprendizagem se concentraram no comportamento de sujeitos individuais. Essas investigações revelaram que o tempo necessário para realizar uma tarefa diminuiu a uma taxa decrescente à medida que a experiência com a tarefa aumentou (Thorndike, 1898; Thurstone, 1919). Tal comportamento foi registrado experimentalmente, com seus dados ajustados a uma equação que descrevia adequadamente a linha de tendência e os pontos dispersos ao seu redor. A primeira tentativa de formular relações entre variáveis de aprendizagem de forma quantitativa foi feita por Wright (1936), e resultou na teoria da “curva de aprendizagem”.

Coube ao Engenheiro Americano Theodore Wright (1936), documentar o fenômeno da aprendizagem no processo produtivo, observando, que o tempo unitário da fabricação de um avião diminuía a uma taxa constante, cada vez que a produção dobrava, afetando diretamente o custo do produto (WRIGHT, 1936).

As diversas teorias acerca da curva de aprendizado, originadas a partir do Modelo de Wright (1936), apresentaram resultados significativos para a compreensão do fenômeno da aprendizagem humana, consequência da repetição de uma atividade e seus impactos no processo produtivo, contudo, não examinam o fenômeno do esquecimento, que da mesma maneira que a aprendizagem aumenta com a repetição de uma tarefa, o fenômeno do esquecimento ocorre com a interrupção da tarefa de forma voluntária ou não, como férias, turnover, setup, entre outra e que aumenta em função desta ruptura da atividade produtiva (JABER, 2006)

Observando-se o um aumento significativo nas publicações sobre o fenômeno do esquecimento, este estudo visa a apresentar modelos mais expressivos das principais literaturas sobre a Curva do Esquecimento, tendo como eixos a fundamentação teórica a formulação dos modelos e a aplicação no ambiente industrial proposta pelos pesquisadores. Para tanto foram analisadas publicações referentes a curvas de aprendizado nas bases de dados *Science Direct*, *Scielo*, *Scopus*, *Web of Science* e *Google Academics*, sendo utilizadas na pesquisa palavras-chave como “*forgetting curves*”, “*total forgetting*” “*learning and forgetting curve*” e “*forgetting effects*”.

2.PRINCIPAIS MODELOS DAS CURVAS DE ESQUECIMENTO

Em contraposição as inúmeras pesquisas sobre Curvas de Aprendizagem, pesquisadores vêm trabalhando na modelagem do processo de esquecimento de forma matemática, experimental e

empírica, faz-se importante então, que as características dos processos do esquecimento sejam revisadas. Neste estudo, foram organizados os principais modelos de esquecimento, visando estabelecer uma base concisa acerca dessa área de estudo. Tais modelos são listados abaixo:

- Modelo de Carlson, J. G e Rowe;
- Modelo Exponencial;
- Modelo de Forma S;
- Modelo VRIF;
- Modelo LFCM;
- Modelo LFRCM.

2.1 MODELO DE CARLSON, J.G E ROWE

Um dos modelos mais antigos desenvolvidos para projetar o tempo da x ésima peça produzida depois de uma interrupção. Carlson, J.G e Rowe (1976) desenvolveram um modelo de aprendizagem-esquecimento em que o modelo de esquecimento é modelado por uma curva semelhante a de aprendizado, sua curva de esquecimento também é assumida como sendo uma função exponencial.

$$T_x = T X^f \quad (1)$$

Onde:

T_x = Tempo necessário para produzir a peça número x depois da interrupção; T = Tempo medido da primeira peça produzida após a interrupção; X = Tempo acumulado para produzir até a peça x sem interrupção; f = coeficiente de esquecimento que varia entre 0 e 1.

Carlson, J.G e Rowe (1976) afirma que o aumento do tempo da primeira unidade no próximo ciclo depende do da duração da interrupção. Carlson, J.G e Rowe (1976), que sugeriram em seus estudos, que algum esquecimento é sempre esperado, porém o esquecimento total não ocorre em breves períodos de interrupção, E que a quantidade esquecida durante um período de interrupção é decorrente da quantidade aprendida e do comprimento da interrupção.

2.2 MODELO EXPONENCIAL

Globerson (1986) citou alguns exemplos de interrupção, como a manutenção preventiva que parava a produção e o tempo que o operador termina seu turno até a retomada no dia seguinte. O modelo desenvolvido foi:

$$F(X, t) = T [1 - (T - X)e^{-at}] \quad (2)$$

Onde:

$F(X, t)$ = tempo de desempenho da primeira repetição após uma interrupção; t = tempo da interrupção; X = tempo de desempenho do próximo ciclo caso a interrupção não ocorra; a = coeficiente de esquecimento; T_1 = tempo utilizado para produzir o primeiro produto.

Segundo Towill (1985) o fator a recebe valores entre 0 e 100 por cento, quando 0 significa que não há esquecimento e 100 significa esquecimento total. Simulando a equação (2) obtém-se:

Figura 1 - Modelo Exponencial

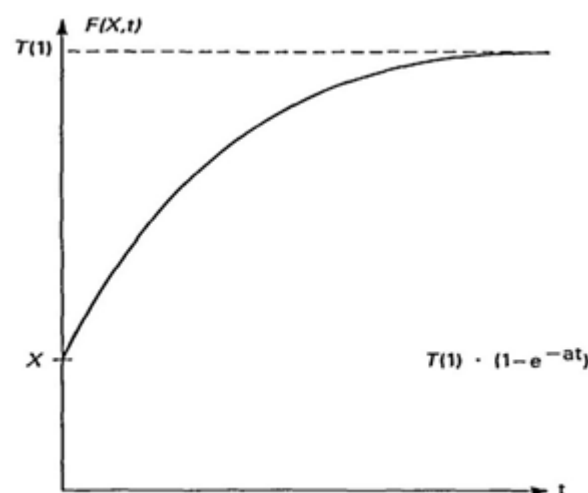


Figura 1: Adaptado de Globerson (1986)

Globerson (1986) concluiu, entretanto, que o modelo é falho quando há um curto período de interrupção, e que se fazia necessário adaptar o modelo para que satisfizesse curtas interrupções. Este modelo foi nomeado como Modelo de Forma S.

2.3 MODELO DE FORMA S

Este modelo foi desenvolvido com base no modelo Exponencial para uma melhor representação quando há um curto período de interrupção.

$$F(X, t) = T_1 - [T_1 - X](at + 1)e^{-at}. \quad (3)$$

Onde:

$F(X, t)$ = tempo de desempenho da primeira repetição após uma interrupção; t = tempo da interrupção; X = tempo de desempenho do próximo ciclo caso a interrupção não ocorra; a = coeficiente de esquecimento; T_1 = tempo utilizado para produzir o primeiro produto.

Quando é feita uma simulação da equação (3) é gerado um gráfico do tempo utilizado para produzir o primeiro produto após a interrupção pelo tempo de interrupção, apresentado na figura (2) a seguir.

Figura 2 – Modelo em Forma S

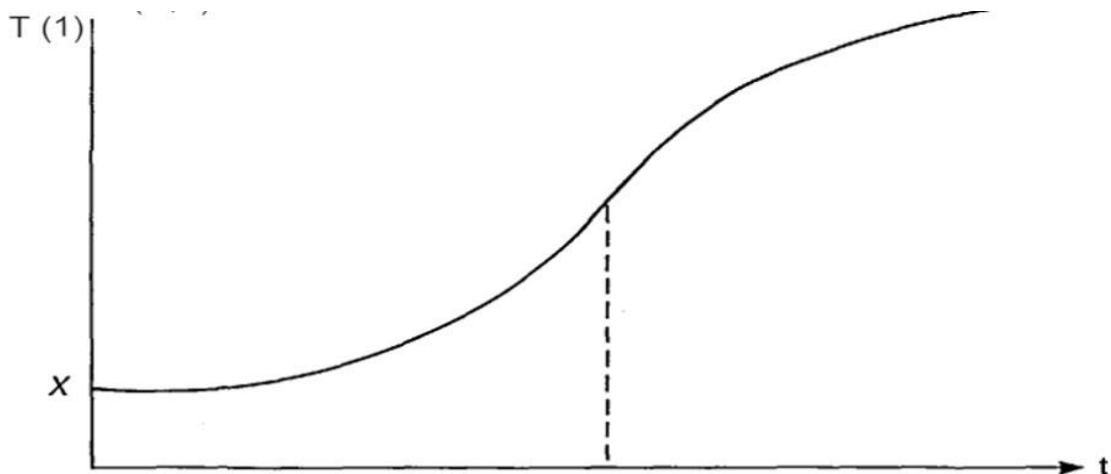


Figura 2 – Adaptado de Globerson (1986)

Globerson (1986) concluiu com estudos empíricos que pesquisas futuras devem se concentrar em duas direções: quantificação das variáveis de esquecimento e investigação de possíveis valores dos parâmetros nos modelos. A investigação dos modelos de esquecimento só pode ser alcançada se a empresa tiver os bancos de dados adequado.

2.4 MODELO VRIF

O modelo VRIF desenvolvido por Elmaghraby (1990) atribui que existe uma função única de esquecimento com um único ponto de interceptação com a de aprendizado. A equação (4) que satisfaz sua teoria é:

$$T_x = T_1 q_1^{-(l+f)} \quad (4)$$

Onde:

T_x = tempo necessário para produzir a x peça após a interrupção;

T_1 = tempo necessário para produzir a primeira peça;

q_1 = experiência transferida do ciclo i ;

l = inclinação de esquecimento;

f = slope de esquecimento que varia entre -1 e 0.

Segundo Elmaghraby (1990) T_1 e f são considerados constantes para o ciclo de produção i , o modelo VRIF é o mais consistente com a racionalização prévia do ciclo Learning and Forgetting.

2.5 MODELO LFCM

O modelo LFCM desenvolvido por Jaber e Bonney (1997) calcula o valor do slope de esquecimento baseado em três fatores: o número de unidades produzidas até o ponto de interrupção, o mínimo intervalo ao qual o operário assume o esquecimento total e o slope de aprendizado. O modelo LFCM é expresso na equação (5) a seguir:

$$f_i = \frac{l(1-l)\log q_i}{\log (C_i + 1)} \quad (5)$$

Onde:

f_i = slope esquecimento; l = slope de esquecimento; q_i = experiência transferida do ciclo i ;

C_i = tempo mínimo para esquecimento total.

O C_i é cálculo através da equação 6 expresso a seguir:

$$C_i = t_b \left[\frac{T_1}{1-l} q_i^{1-l} \right]^{-1} \quad (6)$$

Com a equação (6) é possível calcular o tempo para esquecer q'' variando f_i em cada ciclo (JABER e BONNEY 1997) através da equação (7):

$$T_{1i} = T_1 q^{1-l} f_i \quad (7)$$

Como conclusão, Jaber e Bonney (1997) definiram que o modelo LFCM produzem resultados mais consistentes em comparação aos resultados do modelo de Globerson (1986).

2.6 MODELO LFRCM

Ferreira et al. (2021) criaram o modelo LFRCM com o intuito de estimar os processos iniciais de aprendizagem, os dados de esquecimento e a estimativa de reaprendizagem após as pausas. Para calcular a aprendizagem, são utilizados os dados de performance antes de um período de férias para realização de uma regressão linear por meio da seguinte equação:

$$y = ax + b \quad (8)$$

Onde:

a = coeficiente angular; b = coeficiente linear;

Já para calcular o esquecimento em cada quantidade de dias, este método utiliza-se do algoritmo desenvolvido por Lindeke (2010), o qual é equacionado a seguir:

$$F = 1 - \frac{Y_{c,n+1} - Y_{c,n}}{Y_{f,n} - Y_{c,n}} = \frac{Y_{f,n} - Y_{c,n+1}}{Y_{f,n} - Y_{c,n}} \quad (9)$$

Onde:

$Y_{c,n+1}$ é o primeiro tempo após a parada n , $Y_{c,n}$ é o primeiro tempo antes da parada n , F é o esquecimento e Y_n é o último tempo anterior à parada.

Com o conjunto de dados do esquecimento, encontra-se os coeficientes do modelo de regressão para o cálculo do esquecimento por meio da seguinte equação:

$$F(d) = a\sqrt{\ln(d)} + b \quad (10)$$

Onde:

d = número de dias parados;

a e b = coeficientes do modelo.

Por fim, utilizando o mesmo coeficiente angular das retas de regressão e a performance estimada, calcula-se os coeficientes lineares dos ajustes para as estimativas pós interrupção no processo.

3. CONCLUSÃO

O fenômeno do esquecimento é o fenômeno inverso da aprendizagem, onde esquecer não significa a negativa da aprendizagem e sim, é uma consequência provocada por interrupções. Globerson (1987), sugere que uma das teorias que explicam o esquecimento é a teoria do desuso e que ocorre quando uma informação não é utilizada, concluindo também em seus estudos, o esquecimento é proporcional ao intervalo de interrupção do uso desta informação.

As curvas de esquecimento que modelam esquecimento de um trabalhador, tem se mostrado, quando utilizadas em complemento as curvas de aprendizagem, uma ferramenta importante para a programação da produção, por permitirem a predição de entrega dos lotes de fabricação, ao computarem a perda de aprendizagem de um trabalhador, provocadas pelas interrupções no processo de fabricação.

Este artigo apresentou uma revisão da literatura dos principais modelos de Curva de Esquecimento e suas aplicações, visando trazer contribuições gerenciais relevantes para o Planejamento e Controle da Produção, por possibilitar uma melhor utilização da capacidade produtiva ao compreender os impactos provocados pelo esquecimento na produtividade do trabalhador.

Vale salientar, que a revisão trazida por este estudo, tem como objetivo o de instigar, futuras pesquisas sobre o esquecimento e a relevância dos seus impactos em outros processos organizacionais, tais como custos, preços, agrupamentos de forças de trabalho e estratégias empresariais.

REFERÊNCIAS

- ARGOTE, L., BECKMAN, S.L., AND EPPLE, D. The persistence and transfer of learning in industrial settings. *Manage. Sci.*, 36, 140–154, 1990. ARGOTE, L. AND EPPLE, D., Learning curves in manufacturing, *Science*, 247, 920–924, 1990.
- ANZANELLO, M. J.; FOGLIATTO, F. S. Learning Curve Modelling of Work Assignment in Mass Customized Assembly Lines. *International Journal of Production Research*, Vol. 45, No. 13, 1 July 2007, 2919–2938.
- BADIRU; ADEDEJI B. Computational Survey of Univariate and Multivariate Learning Curve Models. *EEE Transactions On Engineering Management*, Vol. 39, No.2, May 1992.
- CARLSON, J. G. AND ROWE, R. G. "How much does forgetting cost?" *Industrial Engineering* 8: 40 – 47, 1976.
- ELMAGHRABY, S. E. Economic manufacturing quantities under conditions of learning and forgetting (EMQ/LaF). *Prod. Plan- ning Confrol*, 1990, 1, 196-208.
- FERREIRA, J. Â.; VALMORBIDA, E. L.; OZÓRIO, A. K.; KRELING, J. P. D. O Impacto do Esquecimento nos Coeficientes de Reaprendizagem dos Operadores Provocado pelas Interrupções na Produção. In: ENENPRO, Sessão Temática: Gestão da Produção, 4, 2021, Anais: Resumo Expandido. Londrina: 2021. Link.
- FERREIRA, J. Â.; KRELING, J. P. D.; OZÓRIO, A. K. Learning and forgetting curve theories, applied to production planning and programming. *Brazilian. Journal of development*, Curitiba, v. 6, n.12, p.94914-94928 dec. 2020.
- GLOBERSON, S. "Incorporating Forgetting into Learning Curves". *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 7 Issue: 4, pp.80-94, 1987.
- HOFFMAN, T.R. Effect of prior experience on learning curve parameters, *J. Ind. Eng.*, 19, 412–413, 1968.
- JABER, MOHAMAD Y. "Learning and Forgetting Models and Their Applications". *Handbook of Industrial and Systems Engineering*. Edited By Adedeji B. Badiru (2006).
- JABER AND BONNEY. "A comparative study of learning curves with forgetting". *Appl. Math. Modelling*, Vol 21, pp 523-521, 1997.
- THORNDIKE, E.L. Animal intelligence: an experimental study of the associative process in animals, *Psychol Rev.: Monogr. Suppl.*, 2, 1–109, 1898.
- THURSTONE, L.L. The learning curve equation. *Psychol. Monogr.*, 26, 1–51, 1919.
- TOWILL, D.R. "The Use of Learning Curve Models for Prediction of Batch Production Performance". *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 5 No. 2, 1985.

WRIGHT, T. P. Factors Affecting the Cost of Airplanes. Journal of Aeronautical Science. February, 1936.

YELLE, L.E. "The Learning Curve: Historical Review and Comprehensive Survey". Decision Sciences, Vol. 10 No. 2, April 1979.

Capítulo 8



10.37423/231108465

AS REDES SOCIAIS NAS AULAS DE BIOQUÍMICA: UM INSTRUMENTO DE INTERAÇÃO E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

ROSANGELA VIDAL DE SOUZA ARAÚJO

*UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE
PERMANBUCO*

Paolla Rafaelly Barbosa de Oliveira

*UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE
PERNAMBUCO*



Resumo: *Este artigo tem por objetivo relatar uma experiência de ensino de bioquímica utilizando o Facebook como plataforma para momentos virtuais na referida disciplina. A experiência ocorreu na UFRPE, na disciplina de bioquímica, com 60 horas de carga horária, no curso de Licenciatura em Educação Física. Para avaliar o objetivo do artigo foram analisadas três publicações postadas no ambiente virtual. A experiência relatada, mostra que a utilização do facebook se mostrou efetiva não apenas para antecipação de conteúdos a serem trabalhados no momento presencial da disciplina, mas como uma ferramenta capaz de incentivar a interação e cooperação da aprendizagem, bem como fazer com que o momento de aula ultrapasse os momentos presenciais da disciplina.*

1. INTRODUÇÃO

A sociedade, de maneira geral, vem passando por transformações nos mais diversos setores, entre os quais está a educação. As escolas passaram por alterações, nas últimas décadas, e vêm buscando mudanças no ensino tradicional, que já não atende às demandas da contemporaneidade. Outro aspecto que passa por mudanças nas escolas e vem sendo bastante discutido é a introdução das tecnologias digitais de informação e comunicação (TDICs) nas aulas, que vêm provocando mudanças como a configuração de novos espaços de interação e de aprendizagem Monteiro e Araújo (2020).

Toda essa problemática também é observada no ensino superior, e a inovação nas metodologias de ensino, pode ser uma alternativa na disciplina de bioquímica, disciplina considerada “o terror” da área básica dos cursos de graduação da área biológica e da saúde, carente de novas práticas que superem o aprendizado apenas por memorização. Apesar dos esforços para que a Bioquímica seja apresentada de forma coerente e organizada, ela é definida pelos estudantes como uma disciplina complexa, apresentando uma coleção de estruturas químicas e difícil de ser assimilada Pinheiro et al (2009). Além disso, os alunos de Bioquímica a definem como uma coleção de estruturas químicas e reações, com dificuldade de assimilação e desintegrada de sua prática profissional Vargas (2001).

Alguns autores sustentam que, no ensino superior, essa mudança na metodologia do ensino tradicional encontra maior resistência para acontecer. Entre os fatores que justificam essa resistência estão as limitações na formação didática dos professores, a rigidez na estrutura curricular, a sobrecarga de funções, e, conseqüentemente, a falta de motivação dos docentes em debater novas metodologias de ensino-aprendizagem Villardi et al (2015).

2. TRABALHOS RELACIONADOS

Para José Moran (2015) a educação foi sempre híbrida –ou misturada, blended–primeiro, pela combinação de diferentes espaços, tempos, atividades, metodologias, públicos; depois pela mobilidade e conectividade oferecida por aparelhos móveis, recursos digitais e internet, tornando-a um processo mais amplo e profundo, mais aberto e criativo. Mas, de todos os hibridismos descritos pelo autor, para este trabalho nos interessa aquele que diz respeito às tecnologias híbridas, aquele que integra atividades em sala de aula com as digitais, as presenciais com as virtuais. Sobre o ensino, Moran afirma: O ensino é híbrido porque todos somos aprendizes e mestres, consumidores e produtores de informação e de conhecimento. Passamos, em pouco tempo, de consumidores de grande mídia a “prosumidores”- produtores e consumidores - de múltiplas mídias, plataformas e formatos para acessar informações, publicar nossas histórias, sentimentos, reflexões e visão de mundo. Somos o que

escrevemos, o que postamos, o que “curtimos”. Nisso expressamos nossa caminhada, nossos valores, visão de mundo, sonhos e limitações [Moran 2015]. A partir dessa realidade, e embora não tenham sido criadas com fins educacionais, as redes sociais adquirem o status de ambiente de aprendizagem, apropriado inclusive para uma proposta híbrida. Neste sentido, vários autores têm discutido as vantagens do *Facebook*, Finardi e Porcino (2016) destacam a socialização, interação e comunicação no processo de ensino e aprendizagem promovidas pelo *Facebook*. Referenciando os estudos de Llorens e Cadpferro (2011), as autoras descrevem essa rede social como uma ferramenta de aprendizagem colaborativa online já que esta facilita a criação e administração de grupos de trabalho; oferece a possibilidade de bate-papo, a troca de mensagens e a marcação de mensagens e imagens; oferece uma interface de fácil uso e de grande conectividade; e ainda é facilmente adaptável para a aprendizagem móvel.

Em um trabalho intitulado *O facebook nas Aulas de Espanhol: Uma Experiência de Ensino Híbrido* Soares e Aguirre (2020) relatam que: “a experiência confirmou que o *facebook* é uma ferramenta de grande aceitação, capaz de incentivar a interação colaborativa e o desenvolvimento da oralidade e da escrita”.

Mais do que entreter, as redes sociais podem se tornar ferramentas de interação valiosas para auxiliar o trabalho em sala de aula, desde que bem utilizadas. Em um projeto intitulado “Uso da Rede Social (*Facebook*) no Ensino e Aprendizagem da Língua Estrangeira”, Cunha e Almeida (2014) afirmam que: “Ficou perceptível que a utilização do *Facebook*, como ambiente virtual de aprendizagem, os alunos sentiram-se motivados a aprimorarem as suas produções, pois na internet tornam-se públicos para análise dos membros do grupo”.

Este artigo tem por objetivo relatar uma experiência de ensino de bioquímica utilizando o Facebook como plataforma para momentos virtuais na referida disciplina. A seguir, serão descritos os procedimentos metodológicos da pesquisa.

3. METODOLOGIA

O *Facebook* foi escolhido por não se tratar de uma rede social educativa, a qual os estudantes têm muitas objeções em usar pelos problemas de acesso. Dessa forma, o contato dos alunos com as postagens foi espontâneo, uma vez que não precisavam acessar um portal educativo oficial da universidade. Segundo, por ser gratuita e popular, todos os alunos que estavam matriculados na disciplina já possuíam um perfil nessa rede social. Sendo assim, foi criada uma página privada na rede social (Figura 1), e foi orientado que eles criassem grupos que o identificassem, quando fosse

necessário postar atividades colaborativas na página, os grupos foram nomeados como: os fosforilados, estranhos, catecolaminas, glucagon, não somos capazes de opinar, los goelas. Os materiais dos diferentes conteúdos foram postados como eventos, por uma questão de organização (Figura 2).

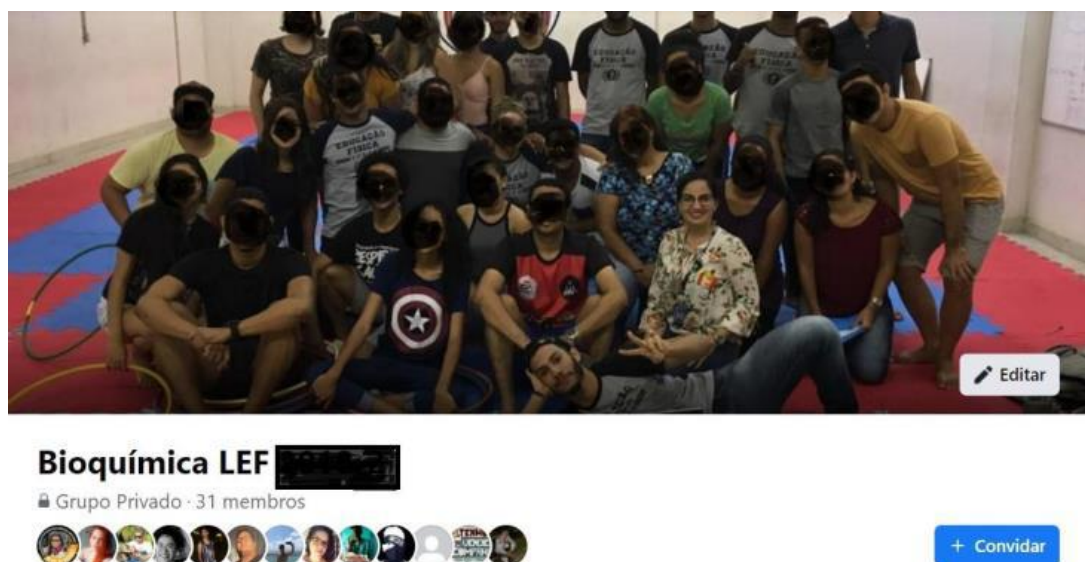


Figura 1: Página Privada na Rede Social da Disciplina.



Figura 2. Organização dos Eventos na Página do Facebook.

Originada de um projeto de iniciação científica, a pesquisa foi desenvolvida com 30 alunos. Estes pertenciam ao segundo período do curso de Licenciatura em Educação Física, na disciplina Bioquímica da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Trata-se de uma disciplina formalmente lecionada no modelo presencial. Portanto, os momentos virtuais relatados nesta pesquisa ocorreram fora da carga horária oficial, basicamente em momentos extraclasse (em casa, ou qualquer outro local de escolha do discente), o que não acarretou a diminuição da carga horária presencial. Um outro detalhe a ser relatado, é que por autonomia do docente da disciplina, esta foi desenvolvida, sem prejuízo de carga horária, toda no formato de sala de aula invertida, ou seja, no ambiente virtual os estudantes recebiam material prévio selecionado pelo professor, como vídeos, rotas metabólicas, reportagens, artigos e textos para o estudo prévio, já os momentos presenciais foram utilizados para resolução de atividades, debates sobre o material postado anteriormente a aula no *Facebook*, momentos de feedback e tira dúvidas, além de avaliação da aprendizagem.

Para análise da experiência de ensino de bioquímica utilizando o *Facebook*, este artigo irá focar em três postagens envolvendo os seguintes conteúdos de bioquímica: obesidade, com a postagem do documentário: “muito além do peso”; Coenzimas NAD⁺/FAD⁺ e lipólise, a Beta-oxidação e o ciclo de Krebs. Serão analisadas as conversas e a interação entre estudantes e professor.

4. RESULTADOS

A escolha pelo uso do *Facebook* como ambiente virtual de aprendizagem (AVA) deu-se pela sua ampla utilização; por não ser necessário cadastrar os estudantes na plataforma, por oferecer acesso gratuito e por possuir uma interface amigável e intuitiva aos usuários. Esta intervenção pedagógica procurou contribuir nos processos de ensino e aprendizagem da disciplina de bioquímica, onde foram criados momentos de aprendizagem nesse ambiente virtual, sobretudo pelas colocações, debates, dúvidas como comentários em resposta às postagens realizadas pelo professor.

A figura 3 ilustra a postagem de um documentário intitulado “muito além do peso”, os comentários mostram a interação entre os estudantes sobre o tempo, antes mesmo do estudo do conteúdo em questão (como é esperado quando se trabalha com a metodologia híbrida da sala de aula invertida (SAI). Nesta postagem inclusive, um estudante traz uma novidade até o momento para a turma, e para o professor, a postagem diz: *“é importante saber que esse ano uma lei determina que as escolas coloquem nos seus currículos a educação alimentar e nutricional, reconhecendo a importância do conteúdo desde a infância”*.



Figura 3. Postagem no Facebook do Link do Documentário Muito Além do Peso.

Na modalidade de ensino híbrido, encontramos, conforme dito acima, um subgrupo denominado Sala de Aula Invertida. Nesse caso, os discentes estudam o conteúdo enviado no ambiente virtual previamente ao momento presencial, enquanto que o tempo em sala de aula física torna-se o momento de esclarecer dúvidas, bem como de realizar atividades em grupo, resolução de problemas, estudo de casos Monteiro e Araújo (2020).

Dito isto, pode-se perceber a importância de debates virtuais, conversas entre os estudantes em relação aos materiais postados, esse primeiro encontro com o conteúdo antes da aula presencial instiga a aprendizagem, e nossa experiência com a docência em bioquímica por mais de uma década, nos permite afirmar que eles muitas vezes chegam no momento presencial com muito mais informações do que chegariam numa disciplina no estilo pedagógico que prioriza o ensino tradicional.

Um exemplo desta constatação, é o que mostra a figura 4, onde uma postagem feita por um estudante que tinha uma dúvida a partir da leitura prévia dele de um conteúdo que seria estudado no próximo encontro presencial, gerou um engajamento importante entre o grupo, cerca de 17 comentários, tais comentários que seguiram na postagem puderam demonstrar algumas questões pedagógicas interessantes, dentre elas o grau de cooperatividade e espírito de coletividade gerado. Uma das respostas à postagem procurava ajudar a dúvida do colega, como podemos ler a seguir: “Segue abaixo um link de um vídeo bem curtinho que vai esclarecer para onde são levados esses produtos”. Estes achados corroboram com as competências esperadas que se desenvolvam quando se trabalha com

metodologias ativas, como valorização de suas opiniões, exercício da empatia, atenção aos questionamentos e respeito aos diferentes estilos de aprendizagem presentes em sala de aula Monteiro e Araújo (2020).

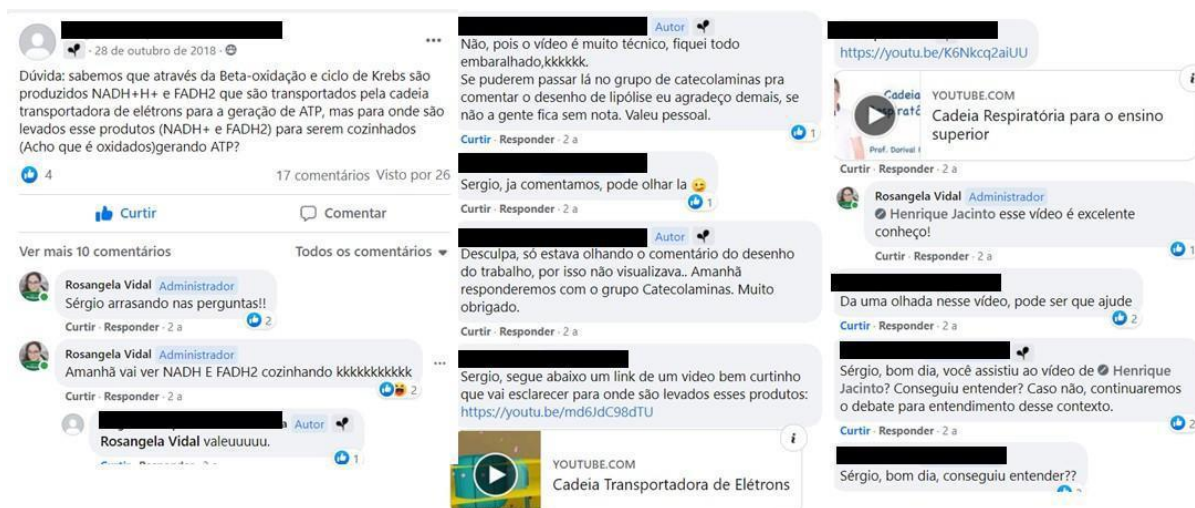


Figura 4. Postagem no Facebook Sobre o Conteúdo Coenzimas.

Essas competências podem também ser observadas na figura 5, qual também coloca em destaque uma característica central para quem trabalha com metodologias ativas, que é o dar voz ao estudante, o estudante como centro do processo, como pode-se verificar a postagem da figura 5 materializa essa voz que o estudante precisa ter para se sentir parte do processo.



Figura 5. Postagem no Facebook Sobre Lipólise, Beta-oxidação e Ciclo de Krebs.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um estudo realizado com o uso do facebook como ambiente virtual de aprendizagem no ensino de química orgânica, mostrou o potencial educacional e a viabilidade da utilização do Facebook como AVA, pois 92,3% dos participantes da pesquisa avaliaram positivamente as atividades desenvolvidas Oliveira e Nichele (2019).

Muitas vantagens existem quando se trabalha de forma híbrida, neste caso utilizando o Facebook como AVA, dentre as vantagens pudemos destacar aqui: o acompanhamento em tempo real, o desenvolvimento das atividades, os comentários, as postagens, compartilhamentos, entre outros. Enfim, todas as experiências dos estudantes e do professor podem ser compartilhadas e acessadas a qualquer momento no próprio ambiente escolar ou fora dele, propiciando maior aproximação entre professor-estudante e estudante-estudante em torno do conteúdo estudado. Nesse sentido, entende-se que as experiências educacionais mediadas pelas tecnologias da informação e comunicação, especialmente por uma rede social como o *Facebook*, contribuem com a melhoria dos processos de ensino e aprendizagem.

6. REFERÊNCIAS

- Cunha, C. A. A, Almeida, L. C. (2014) Uso da Rede Social (Facebook) no Ensino e Aprendizagem da Língua Estrangeira (Inglês e Espanhol) In: Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2014).
- Finardi, K., Porcino, M. C. (2016) “Facebook na ensinagem de inglês como língua adicional”, In: Redes sociais e ensino de línguas: o que temos que aprender? Organizado por Júlio Araújo e Vilson Leffa, São Paulo, Parábola Editorial, p. 92-109.
- Llorens, F., Cadpferro, N. (2011). Facebook’s potential for collaborative eLearning. In Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento (RUSC), p. 197-210.
- Pinheiro, T. D. L, Silva, J. A. D., Souza, P. R. M. D., Nascimento, M. M. D., Oliveira, H. D. D. (2009) Ensino de Bioquímica para acadêmicos de Fisioterapia: visão e avaliação do discente. In Revista de Ensino em Bioquímica, p. 25-35.
- Monteiro, M. G. S. C., Araújo, R. V. S. (2020) Tecnologia na educação: A sala de aula invertida no processo de ensino aprendizagem em bioquímica. In Journal of Biochemistry Education, p. 166-183.
- Oliveira, J. C. S., Nichele, A. G. (2019) O Uso do Facebook como Ambiente Virtual de Aprendizagem no Ensino de Química Orgânica em Língua Inglesa. In Revista Novas Tecnologias na Educação, p. 72-81.
- Soares, Marina; Aguirre, Cecília. O Facebook nas Aulas de Espanhol: Uma Experiência de Ensino Híbrido, In: Congresso Sobre Tecnologias na Educação (CTRL+E), 5. , 2020, Evento Online. Anais [...]. PortoAlegre:SociedadeBrasileiradeComputação,2020.p.266275.DOI:<https://doi.org/10.5753/ctrl.2020.11404>.
- Vargas, L. M. A. (2001) Bioquímica e a aprendizagem baseada em problemas. In Revista de Ensino Bioquímica, p.1-5.
- Villardi, M. L., Cyrino, E. G., Berbel, N. A. N. (2015) A problematização em educação em saúde: percepções dos professores tutores e alunos. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica.

Capítulo 9



10.37423/231208504

MODELAGEM DINÂMICA E SIMULAÇÃO DO SISTEMA DE CONTROLE NÃO LINEAR DO ROBÔ MANIPULADOR SCARA RH-3FRHR35 COM FIXAÇÃO SUPERIOR, FABRICANTE MITSUBISHI

Flávio Luiz Rossini

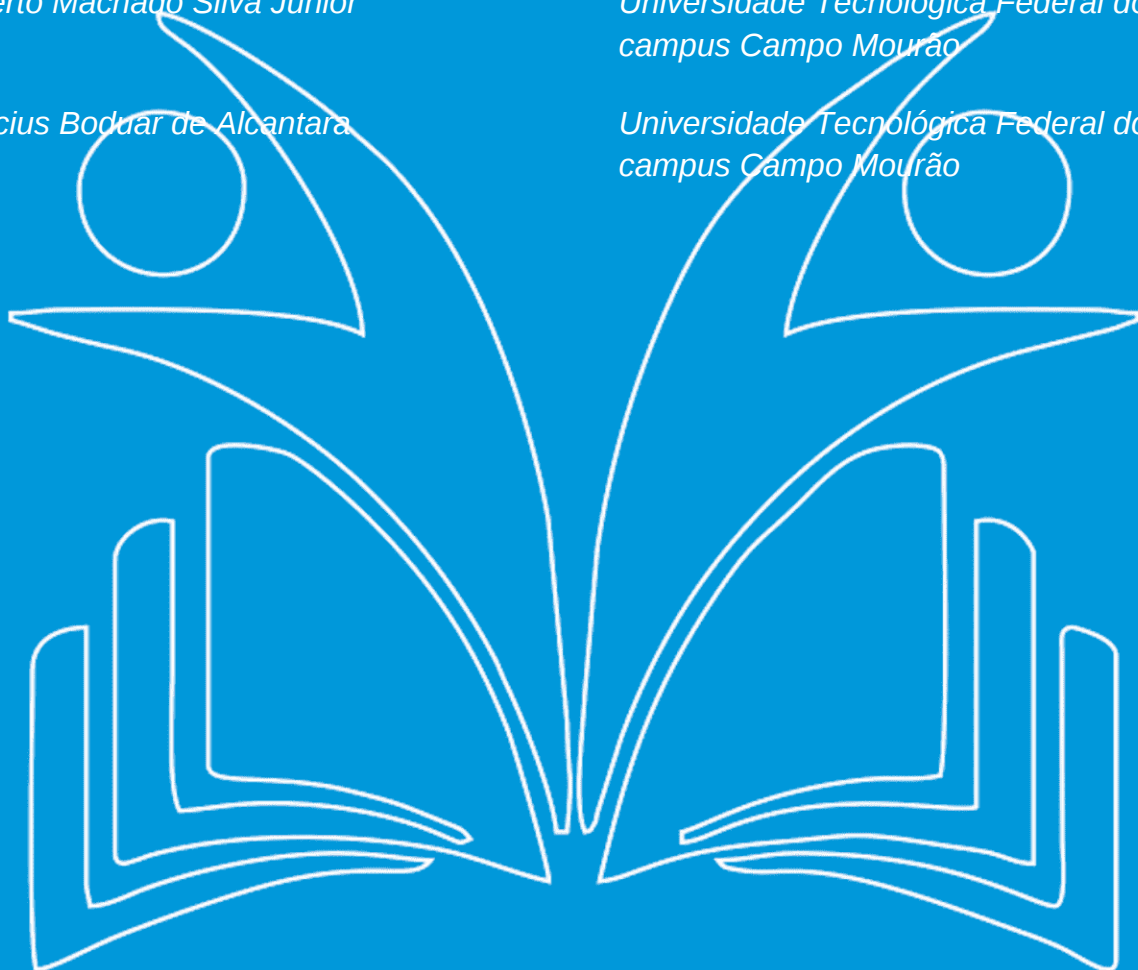
*Universidade Tecnológica Federal do Paraná
campus Campo Mourão*

Paulo Roberto Machado Silva Junior

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná
campus Campo Mourão*

Carlos Vinicius Boduar de Alcantara

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná
campus Campo Mourão*



Resumo: O artigo tem como proposta a modelagem dinâmica e a simulação do sistema de controle particionado não linear do robô manipulador SCARA RH-3FRHR3 da fabricante Mitsubishi. Diante das emergentes inovações tecnológicas, a robótica é vista como um símbolo de pesquisa e desenvolvimento. Para a implementação do trabalho foram desenvolvidos os modelos estático e dinâmico do referido robô. Utilizou-se o software MATLAB®, na implementação do sistema de controle particionado baseado em modelo no espaço de juntas e, por fim, executaram-se simulações que forneceram as informações de trajetória quanto a posição, velocidade e aceleração de cada junta do robô. A partir dos resultados analíticos e numéricos apresentados, espera-se que estudantes e profissionais de robótica possam realizar comparações e promover melhorias, assim como novos desenvolvimentos, a fim de promover maior competitividade da indústria Brasileira.

Palavras-chave: Modelagem Dinâmica, Robô Mitsubishi RH-3FRHR35, Sistema de Controle Particionado, Controle Não linear, Simulação Numérica.

I.INTRODUÇÃO

O futuro da manufatura é caracterizado por uma ênfase notável na personalização. Nesse contexto, a usinagem desempenha um papel fundamental na transformação de matérias-primas em produtos finais em diversos setores. Atualmente, as máquinas e ferramentas dominam o campo das operações industriais, graças à sua notável capacidade de proporcionar precisão e estabilidade [1] [2].

Em seu livro [3], os autores ressaltam que, de acordo com a Federação Internacional de Robótica (IFR), as vendas globais de robôs tiveram um crescimento significativo, com 303.847 unidades vendidas em 2016, o que representa um aumento substancial em relação às 53.409 unidades vendidas em 1993. Já o trabalho da IFR [4] menciona que o relatório *World Robotics* de 2021 revela um número recorde de 517.385 novos robôs industriais instalados em fábricas em todo o mundo, marcou um notável aumento de 31% em comparação com os números de 2020.

No trabalho [5], os autores destacam que embora o Brasil não se sobressaia como um dos principais consumidores globais de robôs ou na instalação de plantas industriais, a área da robótica ainda requer um considerável investimento em conhecimento e desenvolvimento. Isso se deve ao fato de que a utilização de robôs está intrinsecamente ligada à competitividade da indústria e o Brasil possui campo para tal investimento.

Há várias aplicações especializadas na indústria que a robótica se torna atrativa e com certo grau de autonomia. Um exemplo é o planejamento de trajetória, em que o robô determina de forma autônoma o caminho ideal da sua posição atual para uma posição de objetivo desejada. O planejamento de trajetórias desempenha um papel fundamental para que os robôs possam navegar com eficiência e realizar suas tarefas com eficácia [6].

A partir das notas de aula da disciplina de Introdução à Robótica (RB390) do curso de Engenharia Eletrônica na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), *campus* Campo Mourão [5] [7]-[26]. O presente trabalho desenvolveu um estudo de caso aplicado a Robô Manipulador Scara RH-3FRHR35 com fixação superior da fabricante Mitsubishi [27], realizou-se as modelagens da cinemática direta e da dinâmica do robô, além do planejamento de trajetória e implementação de uma estratégia de controle não linear de posição.

II. DESCRIÇÃO DO MODELO

O modelo de robô Mitsubishi RH-3FRHR35 é um robô tipo horizontal, com múltiplas juntas, projetado para aplicações industriais. Ele é especialmente adequado para tarefas que exigem alta precisão, como montagem de componentes elétricos, eletrônicos e outros pequenos componentes.

Na Figura 1, ilustra-se o referido robô RRPR, caracterizado por apresentar quatro graus de liberdades, sendo três juntas rotativas e uma prismática. O robô possui uma estrutura suspensa, assim torna-se adequado a ambientes confinados e com limitação espacial. O sistema de acionamento desse robô, baseia-se em motores de servo acionamento de corrente alternada (servo motor AC), que proporcionam um controle preciso de movimento. Além disso, utiliza um método de detecção de posição absoluto, por meio de codificadores, os quais garantem cerca precisão e confiável.

Por ser versátil o robô pode ser aplicado em diversas linhas de produção, escolheu-se o modelo RH-3FRHR35 para a modelagem matemática e simulação, sendo essas descrições incluem o modelo estático, representado pela cinemática direta, e a descrição dinâmica, essas usadas na estratégia de controle. Usou-se como literatura fundamental a obra do autor Craig (2012) para gerar a descrição dos modelos.



Fig. 1. Robo Mitsubishi modelo RH-3FRHR35 [27].

Para que ocorra melhor compreensão, realizou-se uma simplificação no modelo matemático, considerou-se a última junta como prismática. Desenvolveu-se um esquema mecânico, ilustrado na Figura 2, em 2D do robô selecionado. Através desse esquema, torna-se possível observar os elos e

juntas, além dos respectivos Sistemas de Referência (SR) $\{i\}$, com $i = 0,1,2,3$, localizados na origem de cada elo ou corpo rígido do robô.

A.POSIÇÃO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA $\{i\}$

O SR localiza e orienta o robô no espaço tridimensional. A posição do SR impacta diretamente as coordenadas de todos os objetos e movimentos descritos no ambiente de trabalho. Através da fixação do SR, torna-se possível caracterizar com precisão as posições e orientações de peças e de partes constituintes do robô.

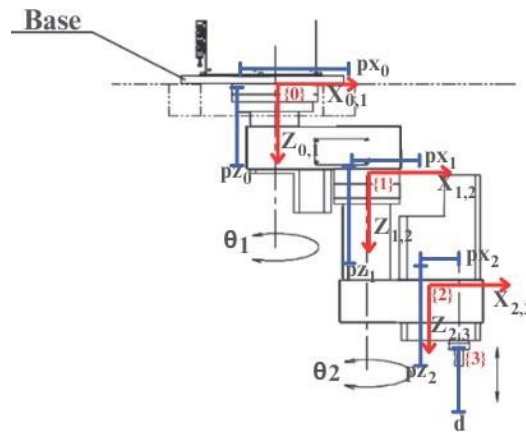


Fig. 2. Modelo 2D do robô Mitsubishi RH-3FRHR35. Adaptado de [27].

Nesta subseção, mostraram-se as posições dos SR $\{i\}$ em relação ao SR $\{i - 1\}$, com $i = 0, \dots, 3$. A partir da fixação do SR $\{0\}$ como origem e fixo, os demais SR se caracterizaram pelos corpos móveis e obtiveram-se conforme apresentado a seguir:

$${}^0_1P = [0 \ 0 \ p_{z0}]^T \quad (1)$$

$${}^1_2P = [p_{x1} \ 0 \ p_{z1}]^T \quad (2)$$

$${}^2_3P = [p_{x2} \ c \ p_{z2}]^T \quad (3)$$

$${}^3_4P = [0 \ 0 \ d]^T \quad (4)$$

sendo d o movimento prismático associado ao SR $\{3\}$.

B.ORIENTAÇÃO DO SISTEMA DE REFERÊNCIA $\{i\}$

Além da posição, a orientação define a direção dos eixos coordenados em relação ao ambiente em que o robô se encontra. Por meio da matriz de rotação, essa pode ser constituída por um conjunto de

ângulos chamados de ângulos de Euler, torna-se possível representar a orientação de um SR específico.

Para descrever completamente um SR, há necessidade de se caracterizar a posição e a orientação da ferramenta do robô. Assim, essa caracterização pode ser realizada com as projeções dos SR $\{i\}$ em relação ao SR $\{i - 1\}$, com $i = 0, 1, 2, 3$, expresso como:

$${}^{i-1}_iR = \begin{bmatrix} X_i X_{i-1} & Y_i Y_{i-1} & Z_i Z_{i-1} \\ X_i X_{i-1} & Y_i Y_{i-1} & Z_i Z_{i-1} \\ X_i X_{i-1} & Y_i Y_{i-1} & Z_i Z_{i-1} \end{bmatrix} \quad (5)$$

A projeção do SR $\{i\}$ em relação ao SR $\{i - 1\}$ em torno do eixo Z, expressada como:

$${}^0_1R = \begin{bmatrix} c_1 & -s_1 & 0 \\ s_1 & c_1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

sendo $\cos(\theta_1) = c_1$ e $\sin(\theta_1) = s_1$. Portanto, é possível aplicar essa mesma analogia para as demais juntas.

C. EQUAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO

Segundo [1], a equação de transformação permite a representação e estabelece a estrutura para realização dos cálculos relacionados à cinemática de robôs em diversos SR. Para obter uma descrição completa da Cinemática Direta do robô, torna-se necessário considerar o vetor de posição, Eq. (1)-(4), e a matriz rotacional correspondente a cada junta, Eq. (6), dos respectivos SR. Assim, concatenam-se numa estrutura unificada conhecida como Equação de Transformação (ET), assim a forma geral da ET é expressa como:

$${}^{i-1}_iT = \begin{bmatrix} {}^{i-1}_iR & {}^{i-1}_iP \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Constituiu-se a ET para o SR $\{1\}$ em relação ao SR $\{0\}$, da forma:

$${}^{i-1}_iT = \begin{bmatrix} c_1 & -s_1 & 0 & 0 \\ s_1 & c_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & h \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

III.CINEMÁTICA

A partir da obtenção das equações cinemáticas, Eq. (7), que descrevem a relação entre as variáveis de deslocamento das juntas e a posição do efetuador final do robô, torna-se possível realizar a análise da cinemática do sistema. Essa análise abrange tanto a cinemática direta, que determina a posição e orientação do efetuador com base nos valores das juntas, quanto a cinemática inversa, que permite encontrar os valores correspondentes das juntas a partir de uma posição conhecida do efetuador [1]. Nesta etapa, é fundamental considerar as posições e orientações dos SR do robô em uma configuração estática, com o objetivo de determinar a posição dos elos em relação ao SR {0}.

A. CINEMÁTICA DIRETA

A Cinemática Direta (CD) é responsável por determinar a posição e a orientação do efetuador do robô. Essas coordenadas são obtidas com a aplicação dos ângulos desejados nas equações da cinemática direta, caso o uso seja em uma junta prismática é necessário aplicar a distância desejada. Dessa forma, é possível obter informações sobre a posição do efetuador em relação à base do robô [8].

Neste trabalho, a representação matemática da CD possui como variáveis independentes $\theta = [\theta_1 \ \theta_2 \ d]^T$ e como variáveis dependentes a posição cartesiana do SR {4}, ${}^0P = [x \ y \ z]^T$.

Após a realização da multiplicação das ETs apresentadas na Equação (7) para todos os SRs existentes no robô, é possível localizar o efetuador final, SR {4}, em relação a base fixa do robô, SR {0}. Essa localização pode ser expressa da forma

$${}^0T = {}^0T({}_1^0T({}_2^1T({}_3^2T({}_4^3T))) \quad (9)$$

A ET, mostrada na Equação (9), refere-se ao SR {4}, em relação a base fixa do robô, SR {0}, a qual possui estrutura da forma:

$${}^0T = \begin{bmatrix} {}^0R & {}^0P \\ 0_{1 \times 3} & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

IV.DESCRICÃO DA TRAJETÓRIA

A geração de trajetória desempenha um papel fundamental na robótica, dessa forma permite que os robôs realizem movimentos adequados em diversos cenários [28]. Existem várias abordagens e

técnicas para a geração de trajetória na robótica, que variam de simples trajetórias lineares a trajetórias complexas baseadas em planejamento de movimento e algoritmos de otimização [29].

Para evitar possíveis quebras no conjunto do robô, a trajetória deve ser feita de forma suave, onde os movimentos abruptos são prevenidos. Movimentos bruscos tendem a causar maior desgaste do mecanismo, além de vibrações que provocam efeitos de ressonâncias no robô [1]. Com a cinemática inversa, torna-se possível calcular os ângulos das juntas necessários para posicionar corretamente o efetuador final do robô no espaço de trabalho, de acordo com as especificações desejadas. Para um único movimento suave, pelo menos quatro restrições em $\theta(t)$ são necessárias, a saber:

$$\theta(0) = \theta(0) \quad (11)$$

$$\theta(t_f) = \theta(t_f) \quad (12)$$

$$\dot{\theta}(0) = 0 \quad (13)$$

$$\dot{\theta}(t_f) = 0 \quad (14)$$

sendo t_f o tempo final do movimento, $\theta(0)$ é o ângulo inicial, $\theta(t_f)$ é o ângulo final, $\dot{\theta}(0)$ é velocidade angular inicial e $\dot{\theta}(t_f)$ é a velocidade angular final, ou seja, observou-se que o polinômio deve satisfazer não apenas essas condições de posição, mas também a restrição de velocidades inicial e final nulas. Para que as quatro restrições sejam satisfeitas por um polinômio, é necessário que o polinômio seja de terceira ordem, como expresso por:

$$\theta(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3 \quad (15)$$

sendo $\theta(t)$ é o valor do ângulo da junta em função do tempo t , a_i são os parâmetros do polinômio para que o movimento seja suave com $i = 0, 1, 2, 3$.

A partir da Equação (15), as equações de velocidade e de aceleração podem ser obtidas por meio do uso de derivada temporal, cujos resultados podem ser expressos por:

$$\dot{\theta}(t) = a_1 + 2a_2t + 3a_3t^2 \quad (16)$$

$$\ddot{\theta}(t) = 2a_2 + 6a_3t \quad (17)$$

A partir da combinação das quatro restrições e do polinômio de terceira ordem, é possível determinar os parâmetros a_0 , a_1 , a_2 e a_3 , conforme segue:

$$a_0 = \theta(t) \quad (18)$$

$$a_1 = 0 \quad (19)$$

$$a_2 = \frac{3}{t_f^2} (\theta(t_f) - \theta(0)) \quad (20)$$

$$a_3 = -\frac{2}{t_f^2} (\theta(t_f) - \theta(0)) \quad (21)$$

Ao utilizar as Equações (18)-(21) para obter os parâmetros e aplicá-los nas Equações (15)-(17), torna-se possível calcular e gerar trajetórias para o movimento do robô ao longo do tempo.

V.DINÂMICA

O estudo da dinâmica surge da necessidade de determinar as forças necessárias para o movimento, segundo [1], no contexto da dinâmica de um manipulador existem dois problemas nos quais deseja-se resolver. No primeiro problema, a partir de um ponto de trajetória, $[\theta, \dot{\theta}, \ddot{\theta}]^T$, se encontra um vetor de torques, τ , para cada junta. O segundo problema consiste em utilizar esse vetor de torques para determinar a trajetória desenvolvida pelo robô.

A.DISTRIBUIÇÃO DE MASSA

Para o estudo do movimento, necessitou-se determinar a distribuição de massas dos elos, que foram definidos em relação a cada SR $\{i\}$, com $i = 0, 1, 2, 3$. Para o modelo utilizado, escolheu-se o SR de cada junta em que se encontra localizado no Centro de Massa do corpo (CM), aproximou-se cada corpo rígido como um paralelepípedo maciço. A seguir se encontra a descrição do CM.

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} w \\ l \\ h \end{bmatrix} \quad (22)$$

sendo k o comprimento ao longo do eixo X_i , l é a largura ao longo do eixo Y_i e h é a altura do corpo rígido ao longo de Z_i . O tensor de inércia para cada corpo, $i=1,2,3$, é obtido por:

sendo m a massa do elo ou corpo rígido.

$${}^c_i I = \begin{bmatrix} \frac{m_i}{12}(h_i^2 + l_i^2) & 0 & 0 \\ 0 & \frac{m_i}{12}(w_i^2 + h_i^2) & 0 \\ 0 & 0 & \frac{m_i}{12}(w_i^2 + h_i^2) \end{bmatrix} \quad (23)$$

B.ALGORITMO DINÂMICO ITERATIVO DE NEWTON-EULER

Para obter as equações da dinâmica do robô, utilizou-se o algoritmo iterativo de Newton-Euler, dessa forma, determinaram-se as equações de torque (τ) para cada uma das juntas do robô. Para as juntas rotativas as equações utilizadas foram:

Equação de velocidade angular:

$${}^{i+1}\omega_{i+1} = {}^{i+1}_i R \ {}^i\omega_i + \dot{\theta}_{i+1} {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} \quad (24)$$

Sendo ${}^{i+1}\omega_{i+1}$ a velocidade angular do elo $i + 1$.

Equação de aceleração angular:

$${}^{i+1}\dot{\omega}_{i+1} = {}^{i+1}_i R \ {}^i\dot{\omega}_i + {}^{i+1}_i R \ {}^i\omega_i \times \dot{\theta}_{i+1} {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} \dots \dots + \ddot{\theta}_{i+1} {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} \quad (25)$$

sendo ${}^{i+1}\dot{\omega}_{i+1}$ a aceleração angular do elo $i + 1$. Equação de aceleração linear:

$${}^{i+1}\dot{v}_{i+1} = {}^{i+1}_i R [{}^i\dot{\omega}_i \times {}^iP_{i+1} \dots \dots + {}^i\omega_i \times ({}^i\omega_i \times {}^iP_{i+1}) + {}^i\dot{v}_i] \quad (26)$$

sendo ${}^{i+1}\dot{v}_{i+1}$ a aceleração linear do elo $i + 1$.

Equação de aceleração linear do centro de massa:

$${}^{i+1}\dot{v}_{C_{i+1}} = {}^{i+1}\dot{\omega}_{i+1} \times {}^{i+1}P_{C_{i+1}} \dots \dots + {}^{i+1}\omega_{i+1} \times ({}^{i+1}\omega_{i+1} \times {}^{i+1}P_{C_{i+1}}) + {}^{i+1}\dot{v}_{i+1} \quad (27)$$

sendo ${}^{i+1}\dot{v}_{C_{i+1}}$ a aceleração linear do centro de massa do elo $i + 1$.

Equação de Força:

$${}^{i+1}F_{i+1} = m_{i+1} {}^{i+1}\dot{v}_{C_{i+1}} \quad (28)$$

sendo ${}^{i+1}F_{i+1}$ a equação da força aplicada no SR{i + 1}.

Equação de Torque:

$$\begin{aligned} {}^{i+1}N_{i+1} = & {}^{C_{i+1}}I_{i+1} {}^{i+1}\dot{\omega}_{i+1} \dots + \\ & + {}^{i+1}\omega_{i+1} \times {}^{C_{i+1}}I_{i+1} {}^{i+1}\omega_{i+1} \end{aligned} \quad (29)$$

sendo ${}^{i+1}N_{i+1}$ a equação do torque aplicado no SR{i + 1}. Quando a junta for prismática, deve-se substituir as Equações (25) e (26), conforme apresenta-se a seguir.

Equação de aceleração angular para junta prismática:

$${}^{i+1}\dot{\omega}_{i+1} = {}^{i+1}R {}^i\omega_i \quad (30)$$

Equação de aceleração linear para junta prismática:

$$\begin{aligned} {}^{i+1}\dot{v}_{i+1} = & {}^{i+1}R ({}^i\dot{\omega}_i \times {}^iP_{i+1} \dots \\ & \dots + {}^i\omega_i \times ({}^i\omega_i \times {}^iP_{i+1}) + {}^i\dot{v}_i) \dots \\ & \dots + 2 {}^{i+1}\omega_{i+1} \times \dot{d}_{i+1} {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} + \ddot{d}_{i+1} {}^{i+1}\hat{Z}_{i+1} \end{aligned} \quad (31)$$

Após realizar as iterações de $i = \{0 \rightarrow n - 1\}$, que correspondem a aplicação das Equações (24)-(31), em seguida são aplicadas as equações de força e torque nas juntas, porém com as iterações inversas, ou seja, $i = \{n - 1 \rightarrow 0\}$. Equação de Força na junta:

$${}^if_i = {}_{i+1}{}^iR {}^{i+1}f_{i+1} + {}^iF_i \quad (32)$$

Equação de Torque na junta:

$$\begin{aligned} {}^in_i = & {}^iN_i + {}_{i+1}{}^iR {}^{i+1}n_{i+1} + {}^iP_{C_i} \times {}^iF_i \dots \\ & \dots + {}^iP_{i+1} \times {}_{i+1}{}^iR {}^{i+1}f_{i+1} \end{aligned} \quad (33)$$

Finalizou-se a modelagem dinâmica do robô, com a descrição do torque para cada junta, da forma:

$$\tau_i = {}^i n_i^T {}^i \hat{Z}_i \quad (34)$$

A partir da aplicação do método descrito nas Equações (24)-(34), obtiveram-se as equações de torques, τ_1 , τ_2 e τ_3 , aplicado a cada junta, respectivamente:

$$\begin{aligned} \tau_1 = & \ddot{\theta}_1 ({}^c I_{zz1} + {}^c I_{zz2} + {}^c I_{zz3} + m_2 p_{x1}^2 + \dots \\ & \dots + m_3 p_{x1}^2 + m_3 p_{x2}^2 + \frac{m_1 w_1^2}{4} + \frac{m_2 w_2^2}{4} + \frac{m_3 w_3^2}{4} + \dots \\ & \dots + \frac{m_1 l_1^2}{4} + \frac{m_2 l_2^2}{4} + \frac{m_3 l_3^2}{4} + m_3 p_{x2} w_3 + \dots \\ & \dots + 2m_3 p_{x1} p_{x2} c_2 + m_2 p_{x1} w_2 \cos(\theta_2) + \dots \\ & \dots + m_3 p_{x1} w_3 c_2 \dots \\ & \dots - l_2 m_2 p_{x1} s_2 - l_3 m_3 p_{x1} s_2) + \ddot{\theta}_2 ({}^c I_{zz2} \dots \\ & \dots + {}^c I_{zz3} + m_3 p_{x2}^2 + \frac{m_2 w_2^2}{4} + \frac{m_3 w_3^2}{4} + \frac{m_2 l_2^2}{4} + \dots \\ & \dots + \frac{m_3 l_3^2}{4} + m_3 p_{x2} w_3 + m_3 p_{x1} p_{x2} c_2 \dots \\ & \dots + \frac{m_2 p_{x1} w_2 c_2}{2} + \frac{m_3 p_{x1} w_3 c_2}{2} - \frac{l_2 m_2 p_{x1} s_2}{2} \dots \\ & \dots - \frac{l_3 m_3 p_{x1} s_2}{2} \dots \\ & \dots - \ddot{\theta}_2^2 \left(\frac{l_2 m_2 p_{x1} c_2}{2} + \frac{l_3 m_3 p_{x1} c_2}{2} + m_3 p_{x1} p_{x2} s_2 \right) \dots \\ & \dots + \frac{w_2 m_2 p_{x1} s_2}{2} + \frac{w_3 m_3 p_{x1} s_2}{2} \dots \\ & \dots + l_3 m_3 p_{x1} c_2 + 2m_3 p_{x1} p_{x2} s_2 + m_2 p_{x1} w_2 s_2 \dots \\ & \dots + m_3 p_{x1} w_3 s_2) \end{aligned} \quad (35)$$

$$\begin{aligned} \tau_2 = & \ddot{\theta}_1 ({}^c I_{zz2} + {}^c I_{zz3} + m_3 p_{x2}^2 + \frac{m_2 w_2^2}{4} \dots \\ & \dots + \frac{m_3 w_3^2}{4} + \frac{m_2 l_2^2}{4} + \frac{m_3 l_3^2}{4} + m_3 p_{x2} w_3 \dots \\ & \dots m_3 p_{x1} p_{x2} c_2 + \frac{m_2 p_{x1} w_2 c_2}{2} + \frac{m_3 p_{x1} w_3 c_2}{2} \dots \\ & \dots - \frac{l_2 m_2 p_{x1} s_2}{2} - \frac{l_3 m_3 p_{x1} s_2}{2} + \ddot{\theta}_2 ({}^c I_{zz2} + {}^c I_{zz3} \dots \\ & \dots + m_3 p_{x2}^2 + \frac{m_2 w_2^2}{4} + \frac{m_3 w_3^2}{4} + \frac{m_2 l_2^2}{4} \dots \\ & \dots + \frac{m_3 l_3^2}{4} + m_3 p_{x2} w_3 + \ddot{\theta}_1^2 \left(\frac{l_2 m_2 p_{x1} c_2}{2} \dots \\ & \dots + \frac{l_3 m_3 p_{x1} c_2}{2} + m_3 p_{x1} p_{x2} s_2 \right) + \frac{w_2 m_2 p_{x1} s_2}{2} \dots \\ & \dots + \frac{w_3 m_3 p_{x1} s_2}{2} \dots \end{aligned} \quad (36)$$

$$\tau_3 = m_3(\ddot{L} + g) \quad (37)$$

Adequaram-se as equações de torques, Eq. (35)-(37), na forma geral:

$$\tau = M(\theta)\ddot{\theta} + V(\theta)\dot{\theta} + G(\theta) \quad (38)$$

sendo $M(\theta)$ a matriz de inércia do manipulador, $V(\theta, \dot{\theta})$ o vetor dos termos Centrífugos e Coriolis e $G(\theta)$ o vetor dos termos da Gravidade, apresentados respectivamente, como:

$$\begin{aligned} a_1 = & {}^cI_{zz1} + {}^cI_{zz2} + {}^cI_{zz3} + \frac{m_1 l_1^2}{4} \dots \\ & \dots + \frac{m_2 l_2^2}{4} + \frac{m_3 l_3^2}{4} + m_2 p_{x1}^2 + m_3 p_{x1}^2 \dots \\ & \dots + m_3 p_{x2}^2 + \frac{m_1 w_1^2}{4} + \frac{m_2 w_2^2}{4} + \frac{m_3 w_3^2}{4} \dots \\ & \dots + m_3 p_{x2} w_3 + 2m_3 p_{x1} p_{x2} c_2 + m_2 p_{x1} w_2 c_2 \dots \\ & \dots + m_3 p_{x1} w_3 c_2 - l_2 m_2 p_{x1} s_2 - l_3 m_3 p_{x1} s_2 \end{aligned} \quad (39)$$

$$\begin{aligned} b_1 = & \frac{m_2 l_2^2}{4} - \frac{l_2 m_2 p_{x1} s_2}{2} + \frac{m_3 l_3^2}{4} \dots \\ & \dots - \frac{l_3 m_3 p_{x1} s_2}{2} + m_3 p_{x2}^2 + m_3 p_{x2} w_3 \dots \\ & \dots + m_3 p_{x1} w_3 c_2 p_{x2} + \frac{m_2 w_2^2}{4} + \frac{m_2 p_{x1} w_2 c_2}{2} \dots \\ & \dots + \frac{m_3 w_3^2}{4} + \frac{m_3 p_{x1} w_3 c_2}{2} + \dots {}^cI_{zz2} + {}^cI_{zz3} \end{aligned} \quad (40)$$

$$c_1 = 0 \quad (41)$$

$$\begin{aligned} a_2 = & \frac{m_2 l_2^2}{4} - \frac{l_2 m_2 p_{x1} s_2}{2} + \frac{m_3 l_3^2}{4} - \frac{l_3 m_3 p_{x1} s_2}{2} \dots \\ & \dots + m_3 p_{x2}^2 + m_3 p_{x2} w_3 + m_3 p_{x1} c_2 p_{x2} + \frac{m_2 w_2^2}{4} \dots \\ & \dots + \frac{m_2 p_{x1} w_2 c_2}{2} + \frac{m_3 w_3^2}{4} + \frac{m_3 p_{x1} w_3 c_2}{2} \dots \\ & \dots + {}^cI_{zz2} + {}^cI_{zz3} \end{aligned} \quad (42)$$

$$b_2 = \frac{m_2 l_2^2}{4} + \frac{m_3 l_3^2}{4} + m_3 p_{x2}^2 + m_3 p_{x2} w_3 \dots \quad (43)$$

$$\dots + \frac{m_2 w_2^2}{4} + \frac{m_3 w_3^2}{4} + {}^c I_{zz2} + {}^c I_{zz3}$$

$$c_2 = 0 \quad (44)$$

$$a_3 = 0 \quad (45)$$

$$b_3 = 0 \quad (46)$$

$$c_3 = 0 \quad (47)$$

$$M = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 \end{bmatrix} \quad (48)$$

$$\begin{aligned} V_1 = & -\dot{\theta}_2^2 \left(\frac{l_2 m_2 p_{x1} c_2}{2} + \frac{l_3 m_3 p_{x1} c_2}{2} + m_3 p_{x1} s_2 p_{x2} \dots \right. \\ & \left. \dots + \frac{w_2 m_2 p_{x1} s_2}{2} + \frac{w_3 m_3 p_{x1} s_2}{2} \right) - \theta_1 \dot{\theta}_2 (l_2 m_2 p_{x1} c_2 \dots \\ & \dots + l_3 m_3 p_{x1} c_2 + 2 m_3 p_{x1} s_2 p_{x2} + w_2 m_2 p_{x1} s_2 \dots \\ & \dots + w_3 m_3 p_{x1} s_2) \end{aligned} \quad (49)$$

$$\begin{aligned} V_2 = & -\dot{\theta}_1^2 \left(\frac{l_2 m_2 p_{x1} c_2}{2} + \frac{l_3 m_3 p_{x1} c_2}{2} + m_3 p_{x1} s_2 p_{x2} \dots \right. \\ & \left. \dots + \frac{w_2 m_2 p_{x1} s_2}{2} + \frac{w_3 m_3 p_{x1} s_2}{2} \right) \end{aligned} \quad (50)$$

$$V_3 = 0 \quad (51)$$

$$V = [V_1 \ V_2 \ V_3]^T \quad (52)$$

$$G_1 = 0 \quad (53)$$

$$G_2 = 0 \quad (54)$$

$$G_3 = g m_3 \quad (55)$$

$$G = [G_1 \ G_2 \ G_3]^T \quad (56)$$

VI.CONTROLE NÃO LINEAR

É desejável que os elos do robô sejam capazes de seguir uma trajetória de maneira suave, dessa forma usou-se a equação do sistema em malha aberta, Equação (38), para então encontrar uma lei de controle particionado e assim contornar as não linearidades do robô. Na Figura 3, representa-se o diagrama de blocos do sistema de controle em malha fechada.

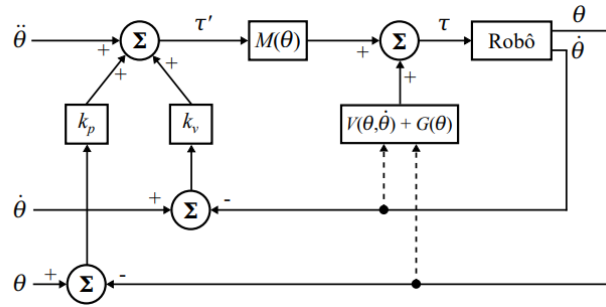


Fig. 3. Diagrama de controle em malha fechada [5].

A lei de controle particionado utilizada, descrita como:

$$\tau = \alpha \tau' + \beta \quad (57)$$

$$\alpha = M(\theta) \quad (58)$$

$$\beta = V(\theta, \dot{\theta}) + G(\theta) \quad (59)$$

sendo τ' a partição do servo apresentada, como:

$$\tau' = \ddot{\theta} + k_v \dot{e} + k_p e \quad (60)$$

sendo e o erro de posição e $\dot{e}$ o erro de velocidade, descritos por:

$$e = \theta_f - \theta_a \quad (61)$$

$$\dot{e} = \dot{\theta}_f - \dot{\theta}_a \quad (62)$$

sendo k_p o ganho de posição, k_v o ganho de velocidade, ambos termos são calculados conforme as especificações do projeto. Além disso, θ_f e θ_a são, respectivamente a posição final e a posição atual do robô, $\dot{\theta}_f$ e $\dot{\theta}_a$ são a velocidade final e a velocidade atual.

Para realizar a implementação computacional, utilizou-se a Equação (38), em seguida selecionaram-se os valores finais e iniciais para as variáveis de posição (θ), velocidade ($\dot{\theta}$) e aceleração ($\ddot{\theta}$). A partir da seleção dos valores, dentro de um laço iterativo são calculados os erros de posição (e_p), os erros de velocidade (e_v) e a partição do servo (τ'). Na sequência, computou-se a equação de malha aberta, Equação (57). E finalizou-se, com a realização de $\ddot{\theta}$ na Equação (38), conforme lei de controle:

$$\ddot{\theta} = \alpha^{-1}(-\beta + \tau) \quad (63)$$

Com o resultado obtido da Equação (63), implementou-se o Método de Integração de Euler, a fim de obter a posição (θ) e velocidade ($\dot{\theta}$). E dessa forma comparou-se com a posição e velocidade desejada e realimentado esses dados no laço iterativo até alcançar o ponto desejado.

VIII.RESULTADOS

Os resultados foram obtidos a partir do *software* MATLAB®. Realizaram-se as simulações a partir dos valores de posição, velocidade e aceleração desejadas para cada elo, $i = 1, 2, 3$, para se determinar a trajetória e controle com os parâmetros apresentados na Tabela I e $T_{\times i}$ a taxa de amostragem da junta i .

TABELA I: Parâmetros utilizados para simulação

Elos	$i = 1$	$i = 4$	$i = 3$
m_i [kg]	19,88	4,06	0,055
w_i [mm]	300	285	20
l_i [mm]	135	135	20
h_i [mm]	535	115	150
$\theta_{i, inicial}$ [mm]	100	100	150
$\dot{\theta}_{i, inicial}$ [mm]	0	0	0
$\theta_{i, final}$ [mm]	300	300	300
$\dot{\theta}_{i, final}$ [mm]	0	0	0
$k_{p,i}$	1	1	1
$k_{v,i}$	2	2	2
$T_{\times i}$ [s]	0,001	0,001	0,001

A. GERAÇÃO DA TRAJETÓRIA

Com intuito de visualizar a trajetória realizada pelo robô a partir das posições cartesianas inicial $[X, Y, Z]_i^T = [100, 100, 150]_i^T$ até a final $[X, Y, Z]_f^T = [300, 300, 300]_f^T$, aplicaram-se as Equações

(15)-(17). Nas Figuras 4, 5 e 6, são ilustradas as representações no espaço de juntas para os elos $i = 1, 2, 3$.

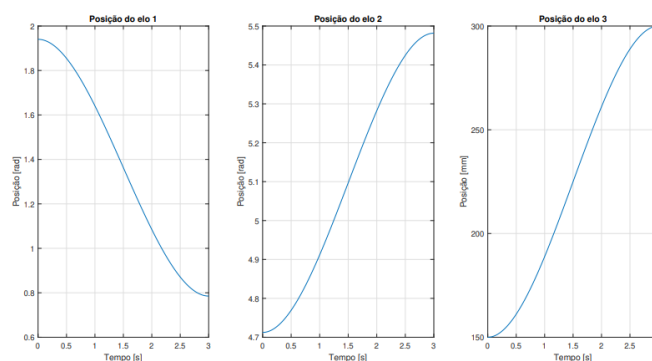


Fig. 4. Posição durante a trajetória para cada elo.

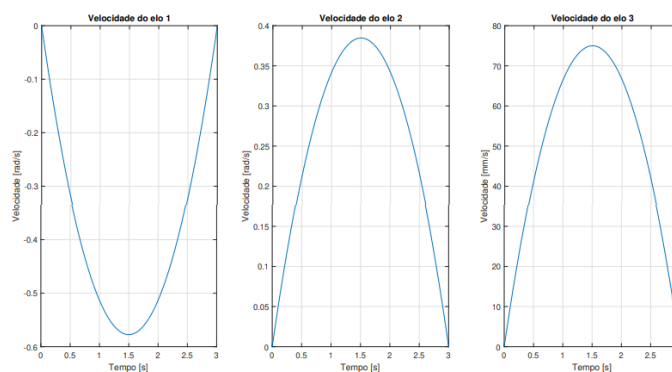


Fig. 5. Velocidade durante a trajetória para cada elo.

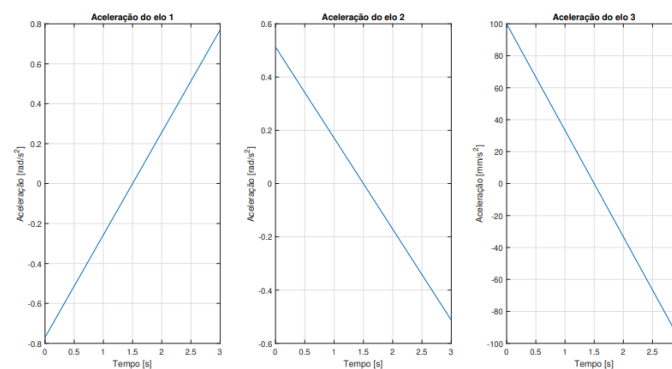


Fig. 6. Aceleração durante a trajetória para cada elo.

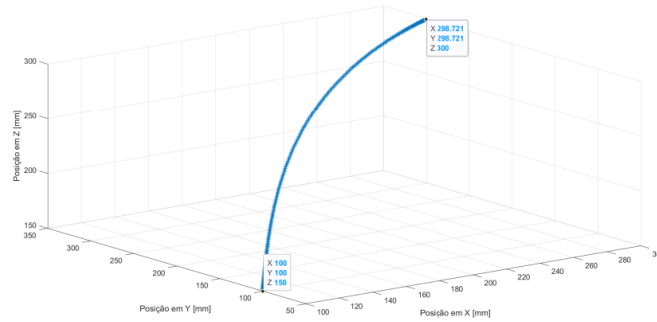


Fig. 7. Trajetória no espaço cartesiano feita pelo robô.

A visualização no espaço cartesiano, Figura 7, permite uma compreensão clara da trajetória percorrida pelo robô em termos de coordenadas $[X, Y, Z]^T$. Ao visualizar a trajetória, é possível identificar pontos de interesse e possíveis colisões ou obstáculos no caminho durante o percurso no ambiente de trabalho. Outro ponto relevante com a visualização da trajetória é a possibilidade de otimizar rotas e evitar movimentos excessivos.

B. GERAÇÃO DE TRAJETÓRIA COM CONTROLE NÃO LINEAR

Aplicaram-se as Equações (48), (52) e (56), as quais geram os seguintes resultados matemáticos para o robô.

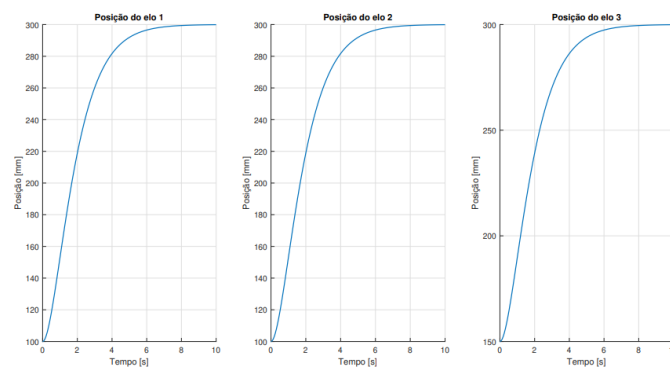


Fig. 8. Posição durante a trajetória para cada elo com controle dinâmico.

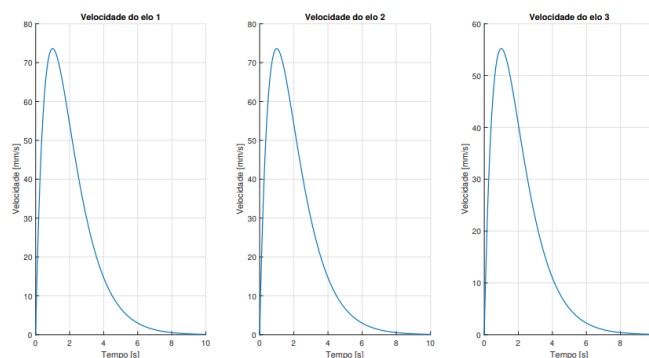


Fig. 9. Velocidade durante a trajetória para cada elo com controle dinâmico.

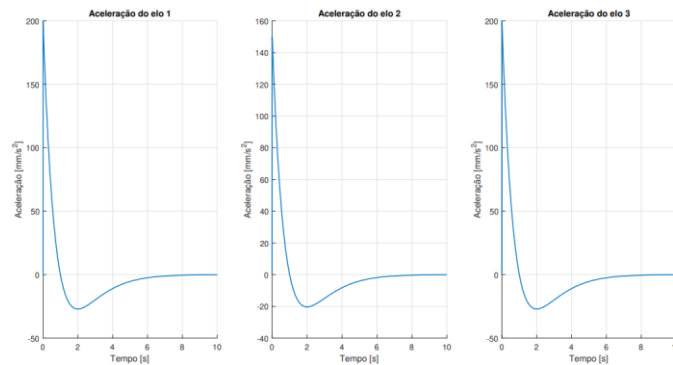


Fig. 10. Aceleração durante a trajetória para cada elo com controle dinâmico.

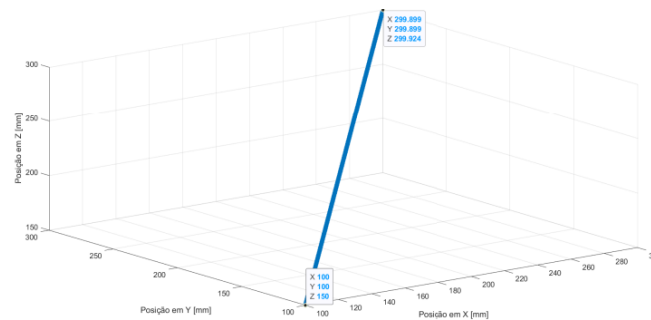


Fig. 11. Trajetória no espaço cartesiano feita pelo robô com controle dinâmico.

VIII.CONCLUSÃO

O presente artigo, desenvolveu a modelagem matemática da cinemática e da dinâmica do robô SCARA RH-3FRHR3 da empresa EPSON, assim como simulou o sistema de controle não linear. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que com o uso da dinâmica é possível obter uma trajetória suave e mais representativa do movimento do robô real, ao comparar com o modelo cinemático do mesmo. A partir da visualização do espaço cartesiano, observou-se a trajetória planejada e executada pelo robô.. Tais dados são úteis ao analisar o movimento em um ambiente tridimensional, onde a representação visual facilita a compreensão das posições relativas do robô em relação a outros objetos ou obstáculos. A modelagem matemática apresentada por esse artigo, pode ser utilizada para futuros trabalhos realizados por estudantes e profissionais na área que desejam embarcá-la em microcontroladores a fim de realizar projetos experimentais.

REFERÊNCIAS

- [1] CRAIG, J. J.. Robótica. 3ª edição, Pearson Education do Brasil, São Paulo, 2012.
- [2] FENERICK, J. A.; VOLANTE, C. R.. Evolução das Indústrias, os Benefícios da Automação e as Perspectivas do Mercado da Robótica no Brasil e no Mundo. Revista Interface Tecnológica, [S.L.], v. 17,n.1,p.734745,30jul.2020.InterfaceTecnologica.Disponívelem:<http://dx.doi.org/10.31510/infa.v17i1.805>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- [3] KURZ, H. D. et al. (Ed.). The Routledge Handbook of Smart Technologies: An Economic and Social Perspective. Routledge, 2022. 290 p.
- [4] INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS. World Robotics Report: “All-Time High” with Half a MillionRobotsInstalledinoneYear.2022.Diponívelem:<https://ifr.org/ifr-press-releases/news/wrreport-all-time-high-with-half-a-million-robots-installed>. Acesso em: 24 jul. 2023.
- [5] ROSSINI, F. L.; LIMA, B. S. de; CORREA, J. H. D.; LOPES, J. M. P.; BARBOSA, R. F. D. S.; BARROZO, Y. R.. Modeling, simulation, motion trajectory planning and nonlinear control in the joint space of the manipulator robot SCARA T3 401SS manufacturer Epson. Seven Editora, [S. l.], 2023. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/index.php/editora/article/view/1092>. Acesso em: 16 ago. 2023.
- [6] LIU, Y.; GUO, C.; ER, M. J.. Robotic 3-D Laser-Guided Approach for Efficient Cutting of Porcine Belly. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 27, no. 5, p. 2963-2972, Oct. 2022. doi: 10.1109/TMECH.2021.3129911.
- [7] UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Coordenação do curso de Engenharia Eletrônica. Disponível em: Acessado em 18 jun. 2023.
- [8] ABREU, L. M.; ROSSINI, F. L.; OLIVEIRA, L. F. P.. Modelagem Cinemática de um Robô Modelo SCARA e Desenvolvimento de Aplicativo para Análise Gráfica. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Anais...Santa Helena(PR) UTFPR Santa Helena, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/seisicite2022/527945-MODELAGEMCINEMATICADEUMROBOMODELOSCARAEDESENVOLVIMENTODEAPLICATIVOPARAANALISEGRAFICA>.Acessoem:16/08/2023<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/96327>. Acesso em: 11 jul. 2023.
- [9] SOUZA, E. D.; ROSSINI, F. L.; OLIVEIRA, L. F. P.. Desenvolvimento de um Aplicativo no Ambiente App Designer do Software Matlab® para Planejamento de Trajetória do Robô PUMA 560. In: FREITAS, Lilian Coelho de (org.). Engenharia Elétrica e de Computação: docência, pesquisa e inovação tecnológica. PontaGrossa:AtenaEditora,p.87109,2023.Disponívelem:<http://dx.doi.org/10.22533/at.ed.4652316018>. Acesso em: 15 jun. 2023.
- [10] ROSSINI, F. L.; LOPES, J. M. P.; ABREU, L. M.; BARBOSA, R. F. S.; OLIVEIRA, L. F. P.. Modelagem, Simulação e Controle de Trajetória do Robô Manipulador SCARA SR-6 IA através de um Aplicativo MATLAB®. In: PERBICHE, João Paulo (org.). Ciências Exatas Estudos e Desafios - Vol. 01. São José dos Pinhais:EditoraBrazilianJournals,p.248278,2022.Disponívelem:<http://dx.doi.org/10.35587/brj.ed.0001995>. Acesso em: 15 jun. 2023.

- [11] ROSSINI, F. L.. Modelagem Matemática da Dinâmica do Robô Manipulador RC 180, Empresa EPSON, via Formulação Lagrangiana. in: II Simpósio de Tecnologia e Engenharia Eletrônica - II SIMTEEL. Campo Mourão, 2014.
- [12] MARTINES, F.; MELO, L.; CHICHANOSKI, G.; MUNARINI, B.; ROSSINI, F. L.. Modelagem Matemática da Cinemática Direta do Robô Manipulador SCARA Modelo G-10/G-20. in: V Ciclo de Palestras: Perspectivas Matemáticas - V CIPEM. Campo Mourão, 2015.
- [13] PENHA, B. S.; QUEIROZ, M. E.; ROSSINI, F. L.. Modelagem e Análise da Cinemática Direta e Inversa de Manipulador Robótico com Cinco Juntas Rotativas. in: III Simpósio de Tecnologia e Engenharia Eletrônica - III SIMTEEL. Campo Mourão, 2016.
- [14] FUDOLI, F.; BLESSA, L.; SOUZA, J.; ROSSINI, F. L.. Modelagem da Cinemática Direta e Inversa do Robô SCARA EPSON G10-851S. in: III Simpósio de Tecnologia e Engenharia Eletrônica - III SIMTEEL. Campo Mourão, 2016.
- [15] SANTOS, M. A.; ROSSINI, F. L.. Modelagem Matemática e Simulação da Cinemática Direta do Robô Manipulador com Seis Juntas Rotativas - 6 GL. in: III Simpósio De Tecnologia e Engenharia Eletrônica - III SIMTEEL. Campo Mourão, 2016.
- [16] CHICHANOSKI, G.; MUNARINI, B. L.; ROSSINI, F. L.. Modelagem da Cinemática Direta do Robô Manipulador RV2AJ de 6 Graus de Liberdade da Industrial Robot Mitsubishi - estudo de caso. in: XX Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Campo Mourão, 2015.
- [17] OLIVEIRA, L. F. P.; ROSSINI, F. L.; SILVA, M. F.; MOREIRA, A. P.. Modeling, Simulation and Implementation of Locomotion Patterns for Hexapod Robots. in: 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON). Resistencia, Argentina, p.11, 2020. doi:10.1109/ARGENCON49523.2020.9505570.
- [18] OLIVEIRA, L. F. P.; ROSSINI, F. L.. Modeling, Simulation and Analysis of Locomotion Patterns for Hexapod Robots. in: IEEE Latin America Transactions, vol. 16, no. 2, p. 375-383, Feb. 2018. doi: 10.1109/TLA.2018.8327389.
- [19] SANCHES, H. E.; ROSSINI, F. L.. Modelagem e Controlador um Manipulador Robótico. in: Journal OfExactSciences, vol.9, n.1, p.0516, AbrJun2016. Disponível em: <https://www.mastereditora.com.br/jes9-1>. Acesso em: 06 jul. 2023.
- [20] LIMA, B. S.; ROSSINI, F. L.; CORREA, J. H. D.; LOPES, J. M. P.; BARBOSA, R. F. S.; BARROZO, Y. R.. Modelagem, Simulação e Análise de Movimento do Robô Manipulador SCARA T3 401SS Fabricante EPSON. In: DALLAMUTA, João; HOLZMANN, Henrique Ajuz (org.). Engenharia Elétrica: Sistemas de energia elétrica e telecomunicações. Ponta Grossa: Atena Editora, p. 108-125, 2022. Disponível em: <https://www.atenaeditora.com.br/catalogo/post/modelagem-simulacao-e-analise-de-movimento-dorobomanipuladorscarat3401ssfabricanteepson>. Acesso em: 18 jun. 2023. doi:10.22533/at.ed.0022217088.

- [21] ROSSINI, F. L.; LIMA, B. S.; CORREA, J. H. D.; LOPES, J. M. P.; BARBOSA, R. F. S.; BARROZO, Y. R.. Modelagem, Simulação, Planejamento de Trajetória e Controle Não Linear no Espaço de Juntas de Movimento do Robô Manipulador SCARA T3 401SS - EPSON. In: BARBOSA, Frederico Celestino (org.). Engenharia: a máquina que constrói o futuro - Volume XIII. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, p. 21-41, 2023. Disponível em: <https://api.conhecimentolivre.org/eclapi/storage/app/public/L.709-2023.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2023. doi: 10.37423/230407596.
- [22] LIMA, B. S.; ROSSINI, F. L.. Proposta de modelagem da cinemática, implementação computacional da cinemática inversa quanto a posição e orientação de robô manipulador 6-DOF. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/961-8a5a4bf29c285d0131b3a0fdedcf0d351f814c1672861b2f6b5887301a6ef784.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2023.
- [23] TAKANO, G. V. B.; TANK, J. S.; SILVA, L. A. S.; ROSSINI, F. L.. Modelagem e simulação da cinemática direta do Multifuncional T3-401S Synthis Robô SCARA, fabricante Epson. Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/12387e7c319b5b15be5b653a4cc91d8e32a6d5ecd49ea2c7d2b3e6f1864d1066d620.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2023.
- [24] REZENDE, L. G.; ROSSINI, F. L.. Simulação da Cinemática Inversa de Um Robô SCARA Através da Implementação de Algoritmos por Métodos Numéricos. Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/10306e8692fec9f5f2ab4d8afc8731acc92f7728f53607852cc10cc16def5e9d3215.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2023.
- [25] BARBOSA, R. F. S.; GARCIA, L. R.; CUNHA, M. R.; ROSSINI, F. L.. Modelagem e simulação da cinemática direta de um robô móvel de três rodas com tração diferencial. Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/11034319d5d6514993af9a1f90540918b99cd1746e145f6cf690b5e0c0f62ece771c.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2023.
- [26] BARROZO, Y. R.; ROSSINI, F. L.. Modelagem matemática e lei de controle para o robô manipulador puma 560. Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1396b59fad92f9135c91a83a846309bc932497a1424a6d7eae826994ff7772de78.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2023.
- [27] MITSUBISHI ELECTRIC. Mitsubishi Electric Industrial Robo FR Series, p. 49-50, 2016. Disponível em: [https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/catalog/robot/l\(na\)-09091eng/l09091c.pdf](https://dl.mitsubishielectric.com/dl/fa/document/catalog/robot/l(na)-09091eng/l09091c.pdf). Acesso em: 18 jun. 2023.
- [28] FRANCO, A. C. et al. Geração e controle de trajetória de robôs móveis omnidirecionais. 2017. Escola Politécnica/Instituto de Matemática. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/21580>. Acesso em: 11 jul. 2023.
- [29] MISSIAGGIA, L.. Planejamento otimizado de trajetória para um robô cilíndrico acionado pneumáticamente. 2014. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/96327>. Acesso em: 22 ago. 2023.

Capítulo 10



10.37423/231208520

ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS EM TEMPO REAL APLICADO A UM SISTEMA EM TEMPO DISCRETO

Walter Gabriel Lopes Pradela

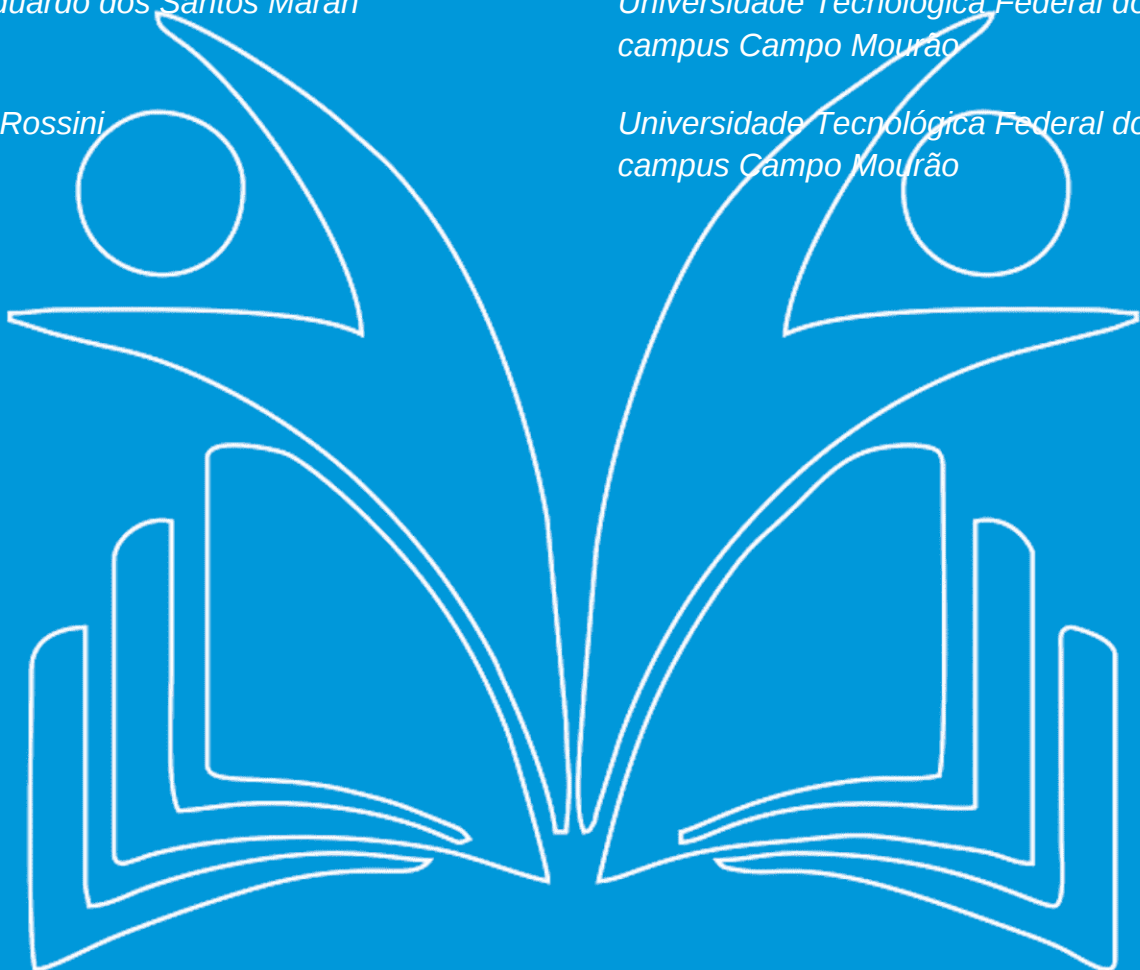
*Universidade Tecnológica Federal do Paraná
campus Campo Mourão*

Matheus Eduardo dos Santos Maran

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná
campus Campo Mourão*

Flávio Luiz Rossini

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná
campus Campo Mourão*



Resumo: O presente artigo apresenta um estudo teórico sobre a estimação de parâmetros por meio do algoritmo Mínimos Quadrados Recursivo (MQR) para obtenção em tempo real ou *online* dos parâmetros de uma equação a diferença. A utilização da estimação de parâmetros é fundamental para a aplicação em sistemas de controle que buscam adaptar os ganhos em função das variações da planta. Assim, o presente artigo busca (i) demonstrar o algoritmo e sua recursividade; (ii) simular no *software* Matlab®; e (iii) apresentar as características do algoritmo e seus impactos em aplicações reais.

Palavras-chave: Estimação *Online*. Método dos Mínimos Quadrados Recursivo com Fator de Esquecimento. Sistema em tempo discreto.

ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS

No contexto da engenharia, há necessidade de trabalhar com mais ou menos ênfase com modelos ou descrições matemáticas. Uma frente para obtenção desses modelos é denominada de caixa branca, em que o sistema físico é completamente conhecido e acessível. Contudo, uma classe de sistemas dinâmicos é parcialmente conhecido, assim faz-se uso de técnicas para obtenção dos referidos modelos com auxílio de algoritmos computacionais (ROSSINI, 2020).

Ao considerar sistemas de controle adaptativos, há um conjunto desses que demandam de atualização dos ganhos do controlador em função das mudanças da planta (LUIZ ROSSINI; SANTOS MARTINS; PAULO SILVA GONÇALVES; GIESBRECHT, 2018) (ROSSINI; GIESBRECHT, 2018) (ROSSINI; OLIVEIRA; GIESBRECHT, 2021) (TAKEMOTO; ROSSINI; CORREA, 2022).

Existem diversas formas de estimar tais parâmetros cada um com suas vantagens e vantagens que devem ser estudadas para cada aplicação. Neste material abordou-se os Mínimos Quadrados Recursivos (MQR).

MÍNIMOS QUADRADOS

O Método dos Mínimos Quadrados foi desenvolvido por Karl Friedrich Gauss no final do século 18 com o intuito de utilizar as informações passadas para prevêr a trajetória de planetas e cometas (COELHO, 2004). O intuito foi selecionar parâmetros ou coeficientes desconhecidos de um modelo matemático a fim que a soma dos quadrados da diferença entre os valores observados e dos calculados multiplicados por um valor que quantifica o grau da precisão sejam minimizadas. Desta forma, qualquer ruído ou erro das informações observadas afetam menos o modelo matemático (IOANNOU; SUN, 1996).

Para compreender o MQR é necessário compreender o método clássico, para isso definiu-se a saída de um sistema, expressada por:

$$y(n) = \theta(n)\varphi^T(n) + l(n) \quad \text{Eq.(1)}$$

sendo $\theta(n)$ o vetor dos parâmetros, $\varphi(n)$ o vetor das medidas passadas e $l(n)$ o erro de modelagem ou ruído (COELHO, 2004). Negligenciou-se o erro de modelagem com o intuito de simplificar a explicação do método.

Ao omitir a variável independente n e reescrever a Eq. (1) no formato matricial a fim de uma implementação computacional, obtém-se:

$$Y = \theta \phi \quad \text{Eq.(2)}$$

$$Y = \theta \phi \quad \text{Eq.(2)}$$

sendo ϕ a matriz das medidas, esta matriz possui mais linhas do que colunas.

A estimativa da vetor de saída Y é expressada em:

$$\hat{Y} = \hat{\theta} \phi \quad \text{Eq.(3)}$$

sendo $\hat{Y}$ o sinal de saída a partir dos parâmetros estimados, $\hat{\theta}$.

Desta forma o erro da previsão, pode ser computada por:

$$\varepsilon = Y - \hat{\theta} \phi \quad \text{Eq.(4)}$$

Com o intuito de ponderar o erro da previsão, utilizou-se uma matriz W , em que na sua diagonal principal contém valores para ponderar o erro. Desta forma expressou-se como:

$$J = [Y - \hat{\theta} \phi]^T W [Y - \hat{\theta} \phi] \quad \text{Eq.(5)}$$

Realizou-se a derivada parcial da Eq. (5) em relação a $\hat{\theta}$ igualando a 0, e considerou-se a taxa de variação do erro nulo, desta forma obteve-se:

$$0 = -2[Y^T W \phi]^T + 2\phi^T W \phi \hat{\theta} [Y - \hat{\theta} \phi] \quad \text{Eq. (6)}$$

Isolou-se $\hat{\theta}$, da forma:

$$\hat{\theta} = [\phi^T W \phi]^{-1} \phi^T W Y \quad \text{Eq.(7)}$$

Ao substituir W por uma matriz identidade, a ponderação é igual para todas as medidas, ou seja, a variância é igual, desta forma reescreveu-se a Eq. (7) como:

$$\hat{\theta} = [\phi^T \sigma^2 \phi]^{-1} \phi^T \sigma^2 Y \quad \text{Eq.(8)}$$

Simplificou-se a Eq. (8) e obteve-se:

$$\hat{\theta} = [\phi^T \phi]^{-1} \phi^T Y \quad \text{Eq. (9)}$$

Nota-se que para a utilização desta definição clássica do Método dos Mínimos Quadrados existe uma demanda de grande armazenamento das variáveis e seus respectivos vetores e matrizes e a cada iteração do processo é necessário a “construção” de novos vetores e matrizes.

A Eq. (8) estabelece uma relação direta para o vetor de Parâmetros estimados, para a obtenção da forma recursiva do algoritmo é necessário manipular a Eq. (9) para atualizar conforme os dados já

armazenados nas iterações passadas, diminuindo o espaço de armazenamento das variáveis, matrizes, vetores e possibilitando a implementação *Online* através de ferramentas computacionais.

MÍNIMO QUADRADOS RECURSIVOS

O Método dos Mínimos Quadrados Recursivos (MMQR) é uma técnica poderosa e versátil na área de controle, processamento de sinais, estatísticas e aprendizado de máquina (COLDEBELLA; BROLIN; ROSSINI, 2022a, 2022b) (CANHAN; BROLIN; ROSSINI, 2022a, 2022b, 2023a, 2023b) (PRADELA; MARAN; ROSSINI, 2023). O Método MQR é utilizado para estimar parâmetros desconhecidos de um modelo matemático com base em observações de dados sequenciais. Esse método é especialmente útil em situações em que os parâmetros do sistema mudam ao longo do tempo (ROSSINI, 2020) (COLDEBELLA; ROSSINI, 2023a e 2023b).

Para um sistema real com alguma forma de controle adaptativo, tem-se a amostragem das medidas, para o cálculo dos parâmetros é interessante utilizar o MMQR, para que a cada iteração de amostragem os parâmetros são atualizados gerando um novo erro de modelagem (COELHO, 2004) (LEÃO; MARTINES; SANTOS; CHICHANOSKI; ROSSINI, 2015) (GIROLDO; SCHIAVON; ROSSINI, 2015) (CHICHANOSKI; LEÃO; CRUZ; ROSSINI, 2016) (ROSSINI, 2020).

O MMQR caracteriza-se por possuir uma matriz de covariância dos erros denominada $P(n)$, esta é uma representação das incertezas sobre os parâmetros. A matriz de covariância pode ser utilizada para atualizar a velocidade de adaptação do controlador (COLDEBELLA, 2022).

Ao introduzir a variável previamente omitida (n) o vetor de parâmetros $\hat{\theta}$ foi reescrito como:

$$\hat{\theta}(n) = [\phi^T \phi]^{-1} \phi^T \quad \text{Eq.(10)}$$

Sendo ϕ a matriz contendo os vetores de medidas e $[\phi^T \phi]^{-1}$ a matriz de covariância.

Desta forma as estimativas no instante n são:

$$\hat{\theta}(n) = [\phi^T(n) \phi(n)]^{-1} \phi^T(n) Y(n) \quad \text{Eq.(11)}$$

$$P(n) = [\phi^T(n) \phi(n)]^{-1} \quad \text{Eq.(12)}$$

$$R(n) = \phi^T(n) Y(n) \quad \text{Eq.(13)}$$

sendo o vetor Y o vetor das saídas armazenadas e $P(n)$ a matriz de covariância.

Ao expandir a matriz ϕ , nota-se que os valores anteriores são armazenados e utilizados para o cálculo da matriz atualizada devido a natureza recursiva, a única informação não levada em consideração é a atualização da medição encontrada nos vetores de medições, desta forma manteve-se a matriz $\phi^T(n)\phi(n)$ e atualizou-se os vetores de medições somando estes com a matriz.

$$\phi^T(n)\phi(n) = \phi^T(n)\phi(n) + \varphi(n+1)\varphi^T(n+1) \quad \text{Eq.(14)}$$

Sendo φ o vetor de medidas

Nota-se que a parcela $R(n)$ utiliza o mesmo conceito para obter a Eq. (14), desta forma a atualização da matriz ϕ^T obtém-se com a soma do vetor de medição atualizada enquanto a atualização da saída $y(n)$ é somada a matriz $Y(n)$, na parcela $P(n)$ ao utilizar a Eq. (14) existe a necessidade de realizar a inversa para obter a matriz de covariância, desta forma após simplificar, a atualização da matriz de covariância $P(n)$ e da parcela $R(n)$ é obtida, respectivamente por:

$$P^{-1}(n+1) = P^{-1}(n) + \varphi(n+1)\varphi^T(n+1) \quad \text{Eq.(15)}$$

$$R(n+1) = R(n) + \varphi(n+1)y(n+1) \quad \text{Eq.(16)}$$

A título de implementação computacional do algoritmo é interessante decompor a parcela $P(n)$ já que a cada interação realizar a inversa gera um custo computacional que pode afetar a velocidade do algoritmo, impactando na análise em tempo real (*Online*). Para tal fim utilizou-se da seguinte propriedade:

$$(A + BCD)^{-1} = A^{-1} - A^{-1}B(C^{-1} + DA^{-1}B)^{-1}DA^{-1} \quad \text{Eq. (17)}$$

Onde neste caso $A = P(n)^{-1}$, $C = 1$, $B = \varphi(n+1)$, e $D = \varphi^T(n+1)$.

Aplicando a Eq.(17), reescreveu-se a Eq. (15) onde obteve-se:

$$P(n+1) = P(n) - \frac{P(n)\varphi(n+1)\varphi^T(n+1)P(n)}{1 + \varphi^T(n+1)P(n)\varphi(n+1)} \quad \text{Eq.(18)}$$

A atualização do erro descrito na Eq. (4), pode ser obtida diretamente por meio de:

$$e(n+1) = y(n+1) - \varphi^T(n+1)\hat{\theta}(n) \quad \text{Eq.(18)}$$

Ao isolar $y(n+1)$ na Eq. (18) e substituir na equação Eq.(18) obtém-se:

$$R(n+1) = R(n) + \varphi(n+1)e(n+1) + \varphi(n+1)\varphi^T(n+1)\hat{\theta}(t) \quad \text{Eq.(19)}$$

Com base na Eq. (11) pode-se expressar $\hat{\theta}(n)$ como:

$$\hat{\theta}(n) = P(n) + R(n) \quad Eq. (20)$$

Ao isolar $R(n)$ obtém-se uma relação de $\hat{\theta}(n)$ por $P(n)$, desta maneira utilizo-se esta relação e substituiu-se na Eq. (19), obteve-se:

$$\frac{\hat{\theta}(n+1)}{P(n+1)} = \frac{\hat{\theta}(n)}{P(n)} + \varphi(n+1)e(n+1) + \frac{\hat{\theta}(n)}{P(n) - P(n+1)} \quad Eq. (21)$$

Isolou-se $\hat{\theta}(n+1)$ e simplificou a Eq.(21), obteve-se:

$$\hat{\theta}(n+1) = \hat{\theta}(n) + P(n+1)\varphi(n+1)e(n+1) \quad Eq. (22)$$

$$K = P(n+1)\varphi(n+1) \quad Eq. (23)$$

O fator K é denominado Ganho do estimador, este fator é responsável por ponderar o erro e o valor previsto. Pode ser utilizado também para determinar a velocidade de atualização do algoritmo. A atualização deste fator é expressa por:

$$K(n+1) = \frac{P(n)\varphi(n+1)}{1 + \varphi^T(t+1)P(n)\varphi(t+1)} \quad Eq.(24)$$

Substituiu-se o fator de Ganho do estimador na Eq. (22) e na Eq. (18), obteve-se:

$$\hat{\theta}(n+1) = \hat{\theta}(n) + K(n+1)e(n+1) \quad Eq. (25)$$

$$P(n+1) = P(n) - K(n+1)[P(n)\varphi(n+1)]^T \quad Eq. (26)$$

No formato demonstrado acima é importante nota-se que ao aumentar o número de iterações n existe a possibilidade de convergência dos parâmetros calculados, para uma aplicação recursiva e *Online* não é interessante. A convergência é demonstrada pela diminuição dos elementos da matriz de covariância (COELHO, 2004). Com o intuito de aumentar a robustez do algoritmo, é interessante introduzir um fator para “perturbar” o algortimo, para isto é utilizado um Fator de Esquecimento. Desta forma implementou-se o Método dos Mínimos Quadrados Recursivo com Fator de Esquecimento (MMQR-FE).

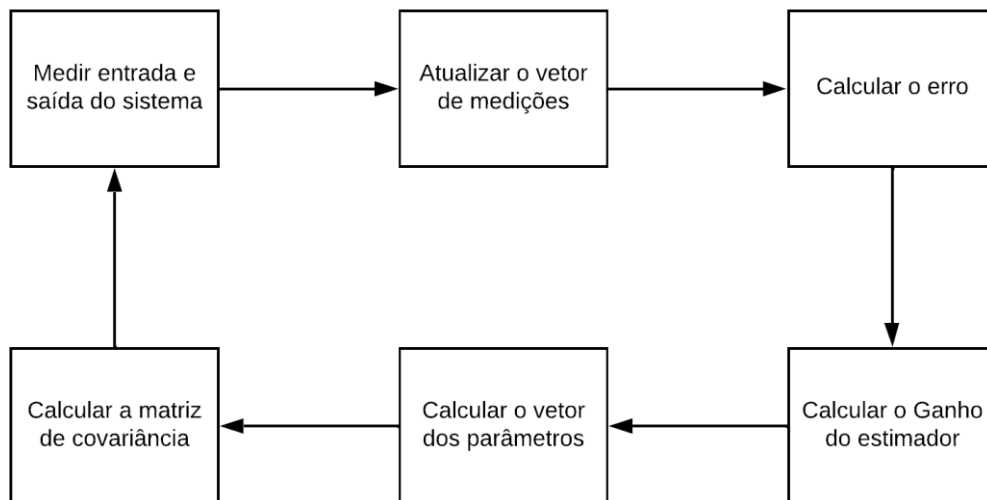
O Fator de Esquecimento possui o intuito de atenuar a influência das iterações passadas nos cálculos recursivos dos parâmetros, este fator possui um valor entre 0 e 1, onde um valor menor implica uma influência maior das iterações passadas enquanto um valor maior implica em uma influência menor. O Fator de Esquecimento é introduzido nos cálculos de matriz de covariância e no Ganho do estimador, desta forma obtém-se as equações:

$$K(n+1) = \frac{P(n)\varphi(n+1)}{\lambda + \varphi^T(n+1)P(n)\varphi(n+1)} \quad \text{Eq. (27)}$$

$$P(n+1) = \frac{1}{\lambda} \{P(n) - K(n+1)[P(n)\varphi(n+1)]^T\} \quad \text{Eq. (28)}$$

Desta forma o algoritmo os passos necessários para o funcionamento do algoritmo MQR-FE pode ser expresso pelo seguinte fluxograma:

Figura 1 – Processo do Algoritmo

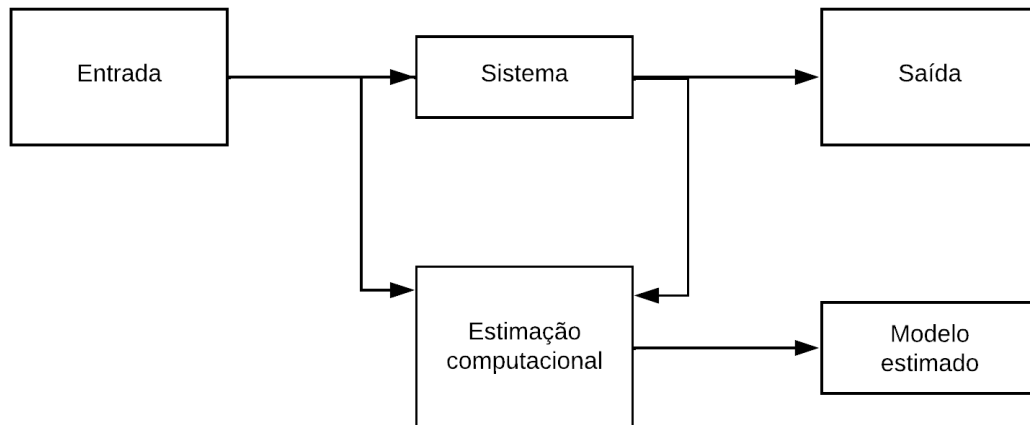


Os devidos cálculos podem ser feitos utilizando um *software* a fim de obter tais variáveis de interesse e calcular os parâmetros desejados. O processo pode ser realizado indefinidamente para estimar os parâmetros do processo em realização e garantir o bom funcionamento do sistema.

Em caso de execução *Online*, pode-se verificar a mudança dos parâmetros com base no vetor de medições, ou seja, observa-se como um determinado parâmetro sofre alterações conforme o processo é executado, este rastreo demonstra o comportamento de um componente real do sistema como a rotação de um eixo de motor ou uma determinada vazão de um tanque, com essa informação é possível monitorar o processo e verificar se o funcionamento condiz com o esperado.

METODOLOGIA

Com o intuito de demonstrar o funcionamento utilizou-se o *software* Matlab® com a finalidade de simular uma estimação de parâmetros *Online* onde a Figura 2 demonstra o comportamento desse método de estimação.

Figura 2 – Estimação Online

Desta forma definiu-se um sistema teórico discreto com 600 iterações que pode ser expressa pela seguinte equação a diferenças:

$$y(n) = a_1 y(n-1) + a_2 y(n-2) + Bu(n-1) + b_2 u(n-2) + e(n) \quad \text{Eq. (29)}$$

sendo $a_1 = 1,544$; $a_2 = -0,5506$; $B = b_1$ é um parâmetro que varia de 0,599 para 0,7 após 200 iterações; $b_2 = 0,163$.

A mudança do parâmetro B pode representar uma mudança em relação a entrada, como uma comutação de um motor elétrico de ligação estrela para delta.

Para tal sistema deve-se definir algumas informações prévias, estas informações são denominadas condições iniciais do sistema.

Para esta aplicação definiu-se uma entrada em degrau e estabeleceu que as condições iniciais das variáveis seriam 0, com exceção do vetor de parâmetros que assume um valor aleatório para fins didáticos, porém, é possível realizar um estudo sobre o sistema em questão e levantar valores melhores para tal caso. A matriz de covariância iniciou-se como a matriz identidade multiplicada por uma constante (neste caso 1000) com o intuito de fornecer um valor alto que possa ser convergir para os valores ideais, neste caso valores muito menores que a constante.

O código abaixo demonstra o algoritmo:

Código do MQR-FE no *software* Matlab®

```

%MQR-FE

clear all; close all; clc;

nit=600;                                % Número de iterações

n_par=4;                                % Número de parâmetros a serem
estimados

% Condições iniciais

for i=1:n_par
    u(i)=1; %sinal de entrada
end

e=u.*0; %Erro das medidas do sistema (caso teorico erro=0)
p=1000*eye(n_par,n_par); teta=rand(n_par,1);

for n=1:n_par
    y(n)=0; erro(n)=0;
    a1(n)=teta(1); a2(n)=teta(2); b1(n)=teta(3); b2(n)=teta(4);
end

% Fator de esquecimento

lambda=0.95;

%MQR

for n=n_par:nit

    u(n)=1+0.01.*rand(1,1);

    e(n)=u(n).*0;

```

```

        if n<201
            B=0.599;
        else
            B=0.7;
        end

        %Equação do sistema
        y(n)=1.544*y(n-1)-0.5506*y(n-2)+B*u(n-1)+0.163*u(n-2)+e(n);

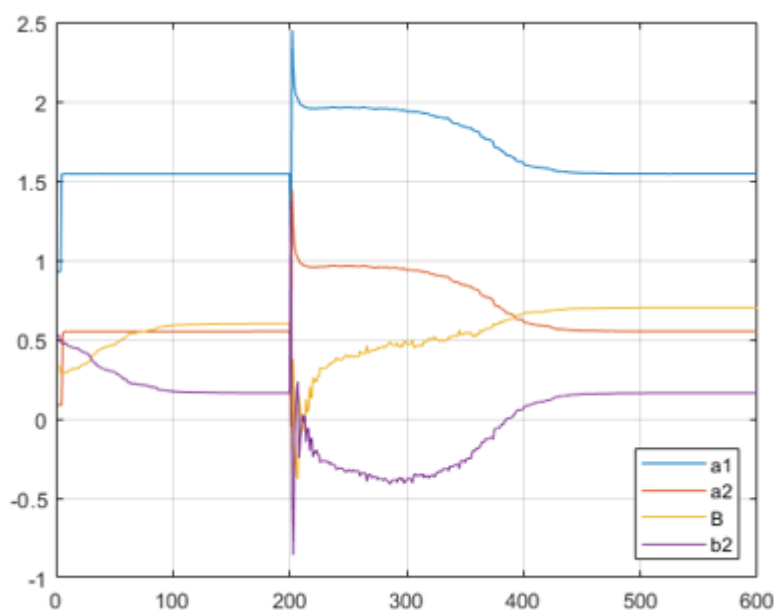
        fi=[y(n-1);-y(n-2);u(n-1);u(n-2)];
        erro(n)=y(n)-teta'*fi;                                % Erro do Estimador
        k=(p*fi)/(lambda+fi'*p*fi);                          % Ganho do Estimador
        teta=teta+k*erro(n);                                   % Vetor de
        Parâmetros
        p=(p-k*fi'*p)/lambda;                                  % Matriz de
        Covariância
        a1(n)=teta(1); a2(n)=teta(2); b1(n)=teta(3); b2(n)=teta(4);

    end

    %Plot
    n=1:nit;
    plot(n,a1,n,a2,n,b1,n,b2,title('Parâmetros'),xlabel('amostragem'));
    grid on
    legend({'a1','a2','B','b2'},'Location','southeast')

```

Para um FE de 0,95, um valor comumente utilizado, obteve-se a seguinte figura e seus resultados expressos no Quadro 1

Figura 3 – Estimação dos Parâmetros**Quadro 1 – Resultados**

Parâmetro	Valor ideal após chaveamento	Iteração 500	Erro (%)
a1	1,544	1,544	0
a2	0,5506	0,5508	0,036
B/b1	0,7	0,699	0,143
b2	0,163	0,162	0,613

CONCLUSÃO

Ao observar na Figura 3, notou-se um ruído na iteração 201, este ruído é devido ao chaveamento do parâmetro B que afeta os demais parâmetros do sistema. Observou-se um período transitório até que o algoritmo voltou a estimar corretamente os valores dos parâmetros, que ocorreu por volta da iteração 490. Contudo, mesmo com esse período transiente, deve-se lembrar que para sistemas reais o tempo de amostragem é um valor o qual o projetista pode alterá-lo.

No Quadro 1, mostrou-se a partir da região onde o algoritmo estabilizou-se após o chaveamento, o erro entre o valor ideal estipulado no código em Matlab® e o valor encontrado ao simular o sistema. Notou-se que o erro ficou abaixo de 1% para todos os parâmetros, porém deve-se observar que para fins didáticos realizou-se algumas considerações simplificadoras onde erro de modelagem do sistema e medição nulos.

Desta forma, a partir dos conceitos ilustrados por este artigo, pode-se expandir para área de controle adaptativo.

REFERÊNCIAS

- CANHAN, Diego Carrião; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. Aplicação do método do gradiente e do método dos mínimos quadrados recursivo para análise de desempenho do controle adaptativo por modelo de referência. In: CANHAN, D. C.; BROLIN, L. C.; ROSSINI, F. L.. Engenharia elétrica: sistemas de energia elétrica e telecomunicações 2. [S. l.]: Atena Editora, 2022a. p. 91-100. ISBN 9786525807270. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.2702211118>. Acesso em: 13 set. 2023.
- CANHAN, Diego Carrião; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. Comparação entre Estimadores Paramétricos Aplicados ao Controle Adaptativo por Modelo de Referência. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Santa Helena, 2022b. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/seisicite2022/548540comparacao-entre-estimadores-parametricos-aplicados-ao-controle-adaptativo-por-modelo-de-referencia/>. Acesso em: 06 set. 2023.
- CANHAN, Diego Carrião; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. Design, simulation and analysis of challenges of parametric estimation algorithms applied to adaptive control by reference model. In: CANHAN, D. C.; BROLIN, L. C.; ROSSINI, F. L.. Development and its applications in scientific knowledge. [S. l.]: Seven Editora, 2023a. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/devopinterscie-247>. Acesso em: 13 set. 2023.
- CANHAN, Diego Carrião; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. Projeto e Análise de Desempenho de Algoritmos de Estimação Paramétrica Aplicados ao Controle Adaptativo por Modelo de Referência. In: CANHAN, D. C.; BROLIN, L. C.; ROSSINI, F. L.. Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos 6. [S. l.]: Aya Editora, 2023b. p. 42-54. ISBN 9786553792555. Disponível em: <https://doi.org/10.47573/aya.5379.2.186.3>. Acesso em: 13 nov. 2023.
- CHICHANOSKI, Gustavo; LEÃO, Andressa; CRUZ, Lucas Martinez da; ROSSINI, Flávio Luiz. Identificação e Validação de Sistema através do Método dos Mínimos Quadrados Aplicado a um Filtro Passivo de Segunda Ordem. In: III Simpósio de Tecnologia e Engenharia Eletrônica - III SIMTEEL, 2016.
- COELHO, Antonio Augusto Rodrigues; COELHO, Leandro dos Santos. Identificação de sistemas dinâmicos lineares. [S. l.]: Editora UFSC, 2004.
- COLDEBELLA, Henrique; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. Análise de algoritmos de estimação paramétrica aplicados ao projeto de controlador adaptativo por modelo de referência. In: COLDEBELLA, H.; BROLIN, L. C.; ROSSINI, F. L.. Engenharia elétrica: sistemas de energia elétrica e telecomunicações 2. [S. l.]: Atena Editora, 2022a. p. 47-58. ISBN 9786525807270. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.2702211114>. Acesso em: 13 set. 2023.
- COLDEBELLA, Henrique; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. Comparação entre Algoritmos de Adaptação Paramétrica aplicados ao Projeto de Controlador Adaptativo por Modelo de Referência. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Santa Helena, 2022b. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/seisicite2022/548802-comparacao-entre-algoritmos-de-adaptacao-parametrica-aplicados-ao-projeto-de-controlador-adaptativo-por-modelo-de-referencia/>. Acesso em: 06 set. 2023.

COLDEBELLA, Henrique; ROSSINI, Flávio Luiz. Desenvolvimento e Implementação do Método dos MQR-FE Acoplado a um Sistema de CAMR. In: COLDEBELLA, H.; ROSSINI, F. L.. Engenharia de controle e automação: estudos fundamentais. [S. l.]: Editora Conhecimento Livre, 2023a. ISBN 9786553672604. Disponível em: <https://doi.org/10.37423/230107095>. Acesso em: 13 set. 2023.

COLDEBELLA, Henrique; ROSSINI, Flávio Luiz. Design and Simulation of a Model Reference Adaptive Control System Using the Recursive Least Squares Method with Forgetting Factor for Gain Adjustment. In: COLDEBELLA, H.; ROSSINI, F.L.. Development and Its Applications in Scientific Knowledge. [S. l.]: SevenEditora, 2023b. p.34993515. ISBN 9786584976283. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/devo-pinterscie-287>. Acesso em: 18 maio 2023.

GIROLDO, Felipe Borino; SCHIAVON, Gilson Júnior; ROSSINI, Flávio Luiz. Aplicação do MQR Off-Line em Filtro Passa-Baixa. In: XX Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, 2015.

IOANNOU, P. A.; SUN, J. Robust Adaptive Control. Editado por PTR Prentice-Hall. 1996

LEÃO, Andressa Santos; MARTINES, Francine; SANTOS, Géssica Cardoso dos, CHICHANOSKI, Gustavo; ROSSINI, Flávio Luiz. Autossintonia de um Controlador PID Adaptativo via Realimentação a Relé: estudo de caso. In: XX Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, 2015.

LUIZ ROSSINI, Flávio; SANTOS MARTINS, Guilherme; PAULO SILVA GONÇALVES, João; GIESBRECHT, Mateus. Recursive identification of continuous time variant dynamical systems with the extended kalman filter and the recursive least squares state-variable filter. In: 15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATICS IN CONTROL, AUTOMATION AND ROBOTICS, 2018, Porto, Portugal. 15th international conference on informatics in control, automation and robotics. [S. l.]: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2018. ISBN 9789897583216. Disponível em: <https://doi.org/10.5220/0006865504680475>. Acesso em: 13 set. 2023.

PRADELA, Walter Gabriel Lopes; MARAN, Matheus Eduardo dos Santos; ROSSINI, Flávio Luiz. Estimação de Parâmetros Online pelo Método dos Mínimos Quadrados Recursivos com Fator de Esquecimento em Tempo Discretos. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicitetrabalhos finais/5667a30b4c4ff56003875f7209138121cfa7d289c8743efdf7071b3c994865c2dbc.pdf>. Acesso em: 04 dec. 2023.

ROSSINI, Flávio Luiz; GIESBRECHT, Mateus. Identificação recursiva de sistemas dinâmicos contínuos variantes no tempo através do filtro de kalman estendido e da filtragem de variáveis de estado pelo método dos mínimos quadrados recursivos. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 2018, João Pessoa, Paraíba, Brasil. XXII Congresso Brasileiro de Automática. Joao Pessoa, Paraíba, Brasil: SBA Sociedade Brasileira de Automática, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.20906/cps/cba2018-0169>. Acesso em: 13 set. 2023.

ROSSINI, Flávio Luiz. Métodos de Filtragem, Estimação e Controle Adaptativo Indireto Aplicados a Sistemas de Teleoperação Bilateral. pt. PhD thesis. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação Universidade Estadual de Campinas, 2020, p.92. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP-30_a4357c8ea5602bb2b5b0d556e8c3a91e. Acesso em: 06 set. 2023.

ROSSINI, Flávio Luiz; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de; GIESBRECHT, Mateus. Identificação recursiva de sistemas dinâmicos contínuos variantes no tempo através do filtro de kalman estendido e da filtragem de variáveis de estado pelo método dos mínimos quadrados recursivos. In: ROSSINI, F. L.; OLIVEIRA, L. F. P.; GIESBRECHT, M.. Desvendando a Engenharia: sua abrangência e multidisciplinaridade - Volume 2. [S. l.]: Editora Científica Digital, 2021. p. 284-302. Disponível em: <https://doi.org/10.37885/210404090>. Acesso em: 13 set. 2023.

TAKEMOTO, Vinícius Sasaki; ROSSINI, Flávio Luiz; CORREA, Wellington José. Modelagem de um Sistema Caixa-Cinza por meio do Método dos Mínimos Quadrados a partir de Identificação ARX. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Santa Helena, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/seisicite2022/547687-modelagem-de-um-sistema-caixa-cinza-por-meio-do-metodo-dos-minimos-quadrados-a-partir-de-identificacao-arx/>. Acesso em: 07 jul. 2023.

Capítulo 11



10.37423/231208523

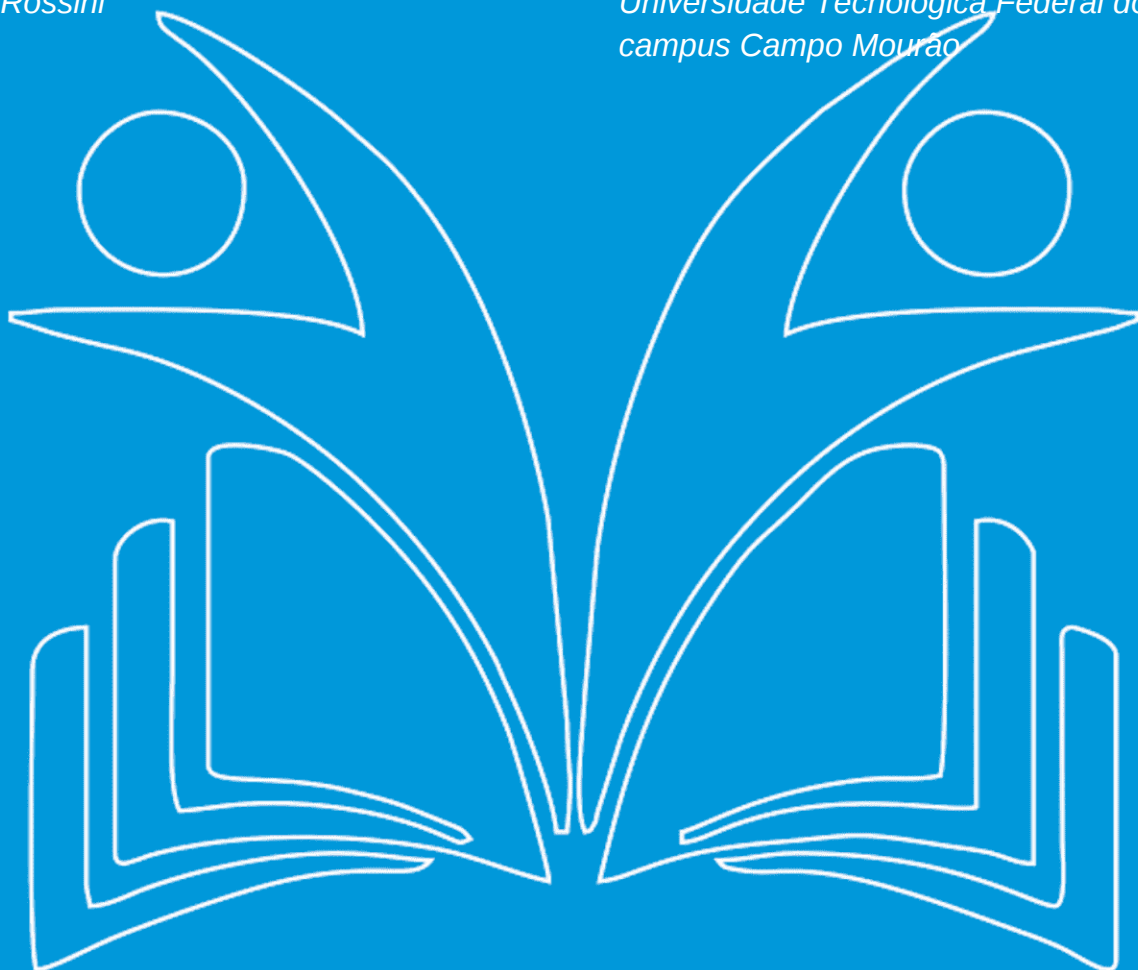
MODELAGEM DINÂMICA DE CIRCUITO ELÉTRICO PASSIVO NO DOMÍNIO DO TEMPO CONTÍNUO E ANÁLISE POR MEIO DOS SOFTWARES MATLAB® E MULTISIM®

Nicholas Seifert

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná
campus Campo Mourão*

Flávio Luiz Rossini

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná
campus Campo Mourão*



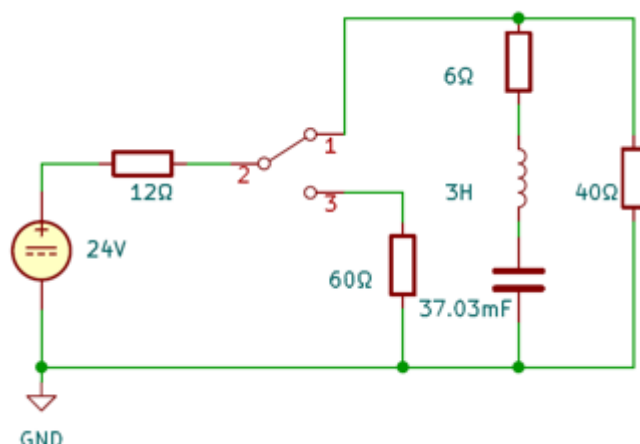
Resumo: O presente capítulo apresenta a modelagem dinâmica de circuito elétrico de três malhas com componentes passivos no domínio do tempo contínuo, solução do sistema de equações na frequência e análise das respectivas simulações realizadas por meio dos *softwares* Matlab® e Multisim®. No contexto de engenharia, ao se tratar de sistemas com maior grau de complexidade, torna-se necessário a modelagem e a simulação do mesmo, para avaliar o comportamento das respectivas variáveis. Desenvolveu-se a proposta do seguinte modo: (i) realizou-se a modelagem dinâmica do sistema elétrico passivo chaveado; (ii) resolveu-se analiticamente o sistema a partir da aplicação da Transformada de Laplace; (iii) implementaram-se as equações no *software* Matlab®; (iv) simulou-se o circuito elétrico no *software* Multisim®; e (v) validaram-se os resultados obtidos. Tal metodologia apresentada é atrativa, pois potencializa a otimização de recursos aplicados no desenvolvimento de projetos.

Palavras-chave: Modelagem no tempo; Solução na frequência; Simulação numérica; *softwares* MATLAB® e Multisim®.

I - INTRODUÇÃO

Desde o começo do Holoceno, o ser humano utiliza a Matemática como ferramenta para compreensão dos fenômenos naturais e para a edificação da tecnologia, em prol da sociedade. O ábaco foi um dos primeiros objetos que a humanidade criou para realizar a contagem, para os diversos propósitos, com números inteiros [1]. A partir de então, o estudo da matemática se intensificou, sendo fundamental no estudo de ciências exatas e tecnológicas, devido sua capacidade de descrever fenômenos físicos. Nos circuitos elétricos, componentes são conectados, os quais podem ser descritos a partir de equações diferenciais lineares [2]. A partir da compreensão destes sistemas, torna-se viável utilizá-los na indústria. Apesar disso, a resolução de tais equações, em sua essência, é onerosa ou mesmo recursiva. Diante desse problema, desenvolveram-se ferramentas para a simplificação da álgebra envolvida. O cálculo de variáveis complexas surgiu como artifício na premissa de resolver uma série de problemas de modelagem [3]. Neste trabalho, mostrou-se como a Transformada de Laplace é utilizada na análise de sistemas lineares no tempo contínuo [2]. Assim como, a aplicação de métodos numéricos para a decomposição das funções de transferência, essas que são utilizadas nas áreas de controle e em projetos de filtros elétricos. O *software* MATLAB®, mostrou-se uma ferramenta amigável para auxiliar na checagem dos resultados analíticos.

Os circuitos elétricos R.L.C. (resistor-indutor-capacitor), possuem apenas resistores, indutores e capacitores conectados de acordo com dada lógica série/paralelo disposta em ramos que compõe malhas [4]. Para a análise do circuito na Figura 1, utilizou-se como estímulo um sinal tensão contínua, constante e positiva. Empregou-se três resistores, com os valores de $12\ \Omega$, $6\ \Omega$ e $40\ \Omega$, respectivamente, um indutor de $3\ H$ e um capacitor de $37,03\ mF$. O método de análise empregado foi o das malhas, denominado como Lei de Kirchhoff das Tensões [4]. A partir de $t = 7s$, a chave abre e o circuito entra na etapa de descarga, com a troca do contato da posição 2 para 3.

Figura 1: Circuito RLC-chaveado adaptado de [5], pág. 321

Além dos circuitos elétricos, a transformada de Laplace pode ser aplicada em sistemas mecânicos, que possuem massa, mola e amortecedores, em sistemas eletromecânicos, que convertem sinais elétricos a impulsos dinâmicos [2]. Em síntese, as aplicações são diversas.

No contexto da engenharia e da tecnologia, há necessidade de se obter modelos matemáticos para usá-los como base para projetos [6]-[15]. Tais projetos, incluem dimensionamento de componentes, análise de formas de ondas e respectivos sinais transientes e estacionário [16]-[22]. Há certas frentes de pesquisa em sistemas de controle adaptativo que são fortemente dependentes de modelos matemáticos, os quais dependem do modelo da planta para ajustar os ganhos dos controladores [23]-[37]. No campo da robótica, também se estende a dependência quanto a descrição matemática dos robôs, sejam eles móveis ou fixos, para que seja projetada a trajetória além do sistema de controle [38]-[59].

O capítulo se encontra organizado da seguinte forma: na seção II, descreveu-se a fundamentação teórica utilizada; na seção III, mostrou-se o memorial descritivo; na seção IV, exibiu-se o script implementado no software Matlab®; na seção V, mostrou-se os resultados simulados; na seção VI, realizou-se a conclusão do trabalho; e na seção VII, listaram-se as referências bibliográficas consultadas.

II-FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 DEGRAUS, IMPULSOS E ELEMENTOS PASSIVOS

Nesta subseção, apresentaram-se as funções degrau e impulso unitários, além dos elementos passivos de circuitos analógicos. Tanto o degrau quanto o impulso são importantes funções para a análise de sinais, denominados de Função de Heaviside e Delta de Dirac, respectivamente.

A função degrau unitário é definida como [2], sendo 0 antes da origem e 1 após a origem, dada a Eq. (1).

$$u(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ 1, & t \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

sendo $u(t)$ a notação da Função de Heaviside, no domínio do tempo contínuo t .

A função impulso unitário é expressa da forma [2], sendo 0 em todos os pontos do domínio real, exceto na origem, na qual vale 1, de acordo com a Eq. (2).

$$\delta(t) = \begin{cases} 0, & t \neq 0 \\ 1, & t = 0 \end{cases} \quad (2)$$

sendo $\delta(t)$ a notação do *Delta de Dirac*, no domínio do tempo contínuo t .

Os circuitos elétricos possuem três componentes básicos, sendo eles o resistor (R), o indutor (L) e o capacitor (C). Os resistores dissipam energia elétrica, sendo convertida em calor por meio do efeito Joule, são assim chamados devido a propriedade material denominada de resistividade elétrica. A Eq. (5) ilustra a resistividade do material, sendo a mesma, R , medida em Ohms (Ω), definida em função de propriedades ambientais e físicas, a saber: a temperatura θ , que varia o coeficiente de resistividade do material ρ , o comprimento do material l e a área S [5]:

$$R(\theta, S, l) = \frac{\rho(\theta) \cdot l}{S} \quad (3)$$

Em um circuito, a tensão elétrica nos terminais de um resistor $U_R(t)$ é medida em Volts (V), sendo obtida pelo produto da resistência elétrica pela corrente elétrica que flui pelo resistor $i_R(t)$, medida em Amperes (A). Ambas a tensão e a corrente variam no tempo t . Na Eq. (4), a resistividade não está nos moldes da Eq. (3), pois a resistividade varia pouco, assim, considera-se constante:

$$U_R(t) = R \cdot i_R(t) \quad (4)$$

Os capacitores são elementos reativos no circuito elétrico, oferecem dificuldade para o fluxo de corrente em um circuito, entretanto, os mesmos armazenam a energia em campos elétricos. A Capacitância C , medida em Farads (F), foi exibida na Eq. (5), para um capacitor de placas paralelas, em função da constante dielétrica ϵ cujo capacitor é feito, a área S e a distância d entre as placas paralelas [5].

$$C(\epsilon, S, d) = \frac{\epsilon \cdot S}{d} \quad (5)$$

Os capacitores, assim como os resistores, possuem uma equação de tensão elétrica em seus terminais, em função do tempo t . A tensão $U_c(t)$ se dá a partir da integral definida da corrente elétrica que flui pelo capacitor, $i_c(\sigma)$, em função de uma variável auxiliar σ , também real e medida em tempo, esta integral dividida pelo inverso da capacitância C , resultado exibido na Eq. (6)

$$U_c(t) = \frac{1}{C} \int_0^t i_c(\sigma) d\sigma \quad (6)$$

Na Eq. (6), a capacitância também pode ser considerada constante devido à falta de variações ambientais e internas. Os indutores também são elementos reativos no circuito elétrico, possuem o comportamento oposto aos dos capacitores. Armazenam energia na forma de campos magnéticos. A Eq. (7) define a indutância L cuja unidade de medida é Henry (H), sendo essa o quadrado do número de enrolamentos N , da permeabilidade do material μ , de sua área transversal S e de seu comprimento longitudinal l .

$$L(N, \mu, S, l) = \frac{N^2 \cdot \mu \cdot S}{l} \quad (7)$$

Assim como os elementos anteriores, pode-se considerar a indutância constante por ter variação desprezível. A tensão elétrica nos terminais do indutor $U_L(t)$, em função do tempo t , é definida em função do produto da indutância L de um componente pela derivada da corrente $i_L(t)$ que permeia o mesmo.

$$U_L(t) = L \cdot \frac{di_L(t)}{dt} \quad (8)$$

Das Eqs. (6) e (8), percebe-se o comportamento dual entre indutores e capacitores, visto que as expressões de tensões elétricas são inversas, isto é, do capacitor, uma integral dividida pela capacitância C , do indutor, uma derivada multiplicada pela indutância L .

2.2 LEIS DE KIRCHHOFF, MÉTODO DAS MALHAS E REGRA DE CRAMER

Nesta subseção, ilustrou-se ao leitor o método de análise das malhas para circuitos elétricos, com base nas leis de Kirchhoff. Para a modelagem, representou-se o circuito com base nas Eqs (4), (6) e (8). Tomado o sistema, utilizou-se um método algébrico para obter a solução a partir da Regra de Cramer.

A Eq. (9) representa a Lei de Kirchhoff das Correntes [4], na qual, o somatório das k_1 correntes i_{n_1} que entram em um nó, é equivalente ao somatório das k_2 correntes i_{n_2} que saem deste mesmo nó, correntes estas em função do tempo t , sendo k_1, k_2, n_1 e n_2 constantes inteiras positivas:

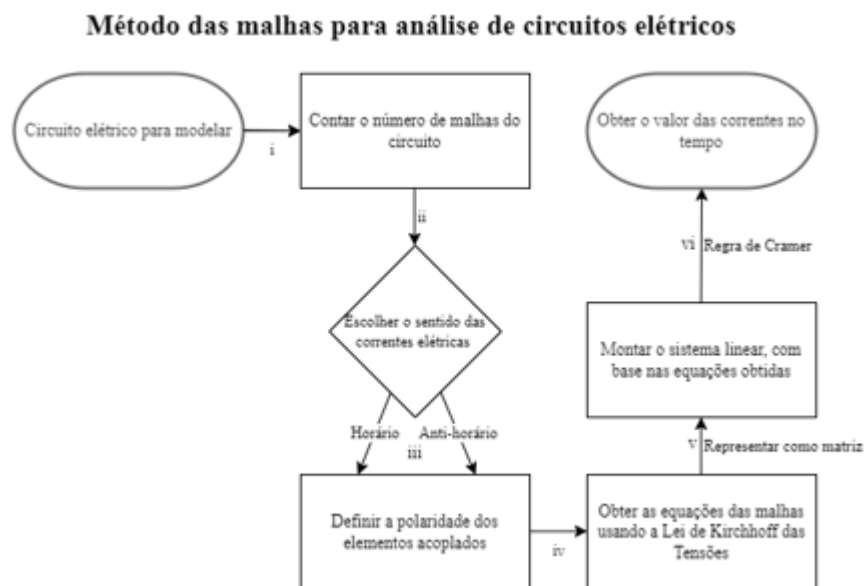
$$\sum_{n_1=1}^{k_1} i_{n_1} = \sum_{n_2=1}^{k_2} i_{n_2} \quad (9)$$

Já a Eq. (10) ilustra Lei de Kirchhoff das Tensões [4], na qual, o somatório das k_3 o tensões U_{n_3} de uma malha fechada resulta em zero, sendo k_3 e n_3 constantes inteiras positivas.

$$\sum_{n_3=1}^{k_3} U_{n_3} = 0 \quad (10)$$

A partir da Figura 2, ilustrou-se a sequência de tarefas necessárias para obter o comportamento de qualquer circuito elétrico analógico, pelo método das malhas. Este procedimento foi utilizado nesta obra, para obter as correntes do circuito da Figura 1 [4].

Figura 2: Fluxograma do Método das Malhas.



Dado um sistema quadrado qualquer, escrito na notação matricial, com $i_1(t), \dots, i_{n_4}(t)$ as entradas do sistema, $a_{11}, \dots, a_{n_4 n_4}$ coeficientes do sistema, e $v_1(t), \dots, v_{n_4}(t)$ as saídas do sistema, em função do tempo t , com n_4 uma constante inteira positiva, representado pela Eq. (11):

$$\begin{bmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n_4} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n_4 1} & \cdots & a_{n_4 n_4} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1(t) \\ \vdots \\ i_{n_4}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1(t) \\ \vdots \\ v_{n_4}(t) \end{bmatrix} \quad (11)$$

Neste trabalho, representaram-se as entradas como correntes elétricas e as saídas como tensões elétricas, ambas em função do tempo t . Obteve-se o valor das correntes, dadas as tensões, com a Regra de Cramer. A Regra enuncia que as variáveis de entrada do sistema são obtidas a partir da razão

entre o determinante da matriz da variável pelo determinante da matriz do sistema [60]. A Eq. (12) representa o determinante da matriz do sistema, obtido a partir dos coeficientes $a_{11}, \dots, a_{n_4 n_4}$, exibidos na Eq. (11):

$$\Delta_{sistema} = \begin{vmatrix} a_{11} & \cdots & a_{1n_4} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n_4 1} & \cdots & a_{n_4 n_4} \end{vmatrix} \quad (12)$$

A Eq. (13) enuncia o determinante da matriz da variável de linha 1 do sistema da Eq. (11), substituiu-se a coluna de tensões $[v_1(t), \dots, v_{n_4}(t)]$, pela primeira, $[a_{11}, \dots, a_{n_4 1}]$, assim se realiza o determinante:

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} v_1(t) & \cdots & a_{1n_4} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{n_4}(t) & \cdots & a_{n_4 n_4} \end{vmatrix} \quad (13)$$

Deve-se dizer que para qualquer sistema quadrado de ordem n , existirão n variáveis, portanto, $n + 1$ determinantes. Por conseguinte, a Eq. (14) representa a

$$i_\xi(t) = \frac{\Delta_\xi}{\Delta_{sistema}} \quad (14)$$

Sendo a corrente $i_\xi(t)$ obtida a partir da razão entre Δ_ξ e $\Delta_{sistema}$, dado ξ uma constante inteira positiva, menor que o tamanho do arranjo que representa as saídas do sistema: $\xi \in [1, \dots, n]$, que representa qualquer variável do mesmo arranjo.

II-C EQUAÇÕES DIFERENCIAIS

Nesta subseção, ilustraram-se as equações diferenciais, presentes na modelagem dos circuitos elétricos devido ao comportamento do Indutor e do Capacitor, de acordo com as Eqs. (6) e (8).

Tais Equações podem ser definidas por ordem e linearidade. Para o circuito deste trabalho, somente trabalhou-se com um sistema de equações lineares e de até segunda ordem. Dada uma Equação Diferencial [3], sendo representada pela Eq. (15), na qual, o somatório dos k_5 termos do produto do coeficiente A_{n_5} pela n_5 -ésima derivada da função $y(t)$ equivalente ao somatório dos k_6 termos do produto do coeficiente B_{n_6} pela n_6 -ésima derivada da função $x(t)$. Os coeficientes k_5 , k_6 , n_5 e n_6 são inteiros e positivos:

$$\sum_{n_5=0}^{k_5} \frac{d^{n_5} y(t)}{dt^{n_5}} \cdot A_{n_5} = \sum_{n_6=0}^{k_6} \frac{d^{n_6} x(t)}{dt^{n_6}} \cdot B_{n_6} \quad (15)$$

NÚMEROS COMPLEXOS, TRANSFORMADA DE LAPLACE E PROPRIEDADES

Nesta subseção, introduziu-se a Transformada de Laplace, como ferramenta eficaz para resolver equações da forma da Eq. (15), que se baseia na troca de domínio do tempo contínuo para a frequência contínua. Para isso, são necessários os números complexos em uma parte da transformada. Além disso, mostraram-se propriedades notáveis da Transformada. Seja a unidade complexa [60], mostrada na Eq. (16), é igual a raiz quadrada de menos um.

$$j = \sqrt{-1} \quad (16)$$

Sendo s um número complexo [60], que é composto pela parte real φ , pela parte imaginária γ e pela unidade complexa j , mostrada na Eq.(17).

$$s = \varphi + j \cdot \gamma \quad (17)$$

A Transformada de Bilateral de Laplace, na Eq. (18), que se estende em todo domínio de s é definida pela integral imprópria de uma função qualquer $f(t)$ no domínio do tempo contínuo t multiplicada pela exponencial complexa e^{-st} , que possui a unidade s representada pela Eq.(17) [3]:

$$\mathcal{L}\{f(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)e^{-st} dt = F(s) \quad (18)$$

Sendo, $\mathcal{L}$ o operador da Transformada.

A Eq.(19) representa a possibilidade de inversão, sendo o operador $\Leftrightarrow$ seu indicativo, com a possibilidade de “ir e voltar” do tempo para a frequência e *vice-versa*.

$$f(t) \Leftrightarrow F(s) \quad (19)$$

A Eq. (20) mostrou a Transformada Inversa de Laplace, sendo a integral imprópria de uma função $F(s)$, na frequência s , para o tempo t , que possui uma representação simbólica semelhante ao exibido na Eq.(18).

$$\mathcal{L}^{-1}\{F(s)\} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot j} \int_{-\infty}^{+\infty} F(s)e^{st} ds = f(t) \quad (20)$$

A Eq. (21) ilustrou deslocamento na frequência s , com uma constante μ real, sendo um fator de multiplicação em uma exponencial $e^{\mu t}$ no tempo.

$$\mathcal{L}\{f(t)e^{\mu t}\} = F(s - \mu) \quad (21)$$

A Eq. (22) exemplificou o deslocamento no tempo, com uma constante χ real.

$$\mathcal{L}\{f(t - \chi)u(t - \chi)\} = e^{-\chi s}F(s) \quad (22)$$

A Eq. (23) a Transformada de Laplace da n_7 -ésima derivada de uma função $f(t)$, com n_7 e n_8 coeficientes reais naturais [2].

$$\mathcal{L}\{f^{(n_7)}(t)\} = s^{n_7}F(s) - \sum_{n_8=1}^{n_7} s^{n_7-n_8}f^{(n_8)}(0) \quad (23)$$

A Eq. (24) ilustrou a Transformada de Laplace de uma integral no tempo integral [2].

$$\mathcal{L}\left\{\int_0^t f(t)dt\right\} = \frac{F(s)}{s} \quad (24)$$

POLINÔMIOS, FUNÇÕES DE TRANSFERÊNCIA E FRAÇÕES PARCIAIS

Nesta subseção, apresentaram-se as Funções de Transferência, obtidas a partir da Transformada de Laplace e da Regra de Cramer, respectivamente. Neste trabalho, as Funções de Transferência foram compostas por polinômios, funções básicas que envolvem coeficientes e variável. É possível fragmentar as Funções de Transferência em um somatório de frações, a partir de técnicas de Frações Parciais. Com as Frações Parciais obtidas, aplicou-se a Transformada Inversa de Laplace.

A Eq.(25) ilustrou um polinômio p em função do tempo contínuo t , dado pelo somatório de um fator t regido por algum grau de potência $k_9 - n_9$, multiplicado por um coeficiente C_{n_9} [61]:

$$p(t) = \sum_{n_9=0}^{k_9} C_{n_9} t^{k_9-n_9} \quad (25)$$

A Equação anterior é a generalização de qualquer polinômio. A Eq. (26) simbolizou uma Função de Transferência T em função da frequência complexa s , obtida a partir da razão de dois polinômios da forma da Eq. (25):

A Eq. (24) ilustrou a Transformada de Laplace de uma integral no tempo integral [2].

$$\mathcal{L}\left\{\int_0^t f(t)dt\right\} = \frac{F(s)}{s} \quad (24)$$

POLINÔMIOS, FUNÇÕES DE TRANSFERÊNCIA E FRAÇÕES PARCIAIS

Nesta subseção, apresentaram-se as Funções de Transferência, obtidas a partir da Transformada de Laplace e da Regra de Cramer, respectivamente. Neste trabalho, as Funções de Transferência foram compostas por polinômios, funções básicas que envolvem coeficientes e variável. É possível fragmentar as Funções de Transferência em um somatório de frações, a partir de técnicas de Frações Parciais. Com as Frações Parciais obtidas, aplicou-se a Transformada Inversa de Laplace.

A Eq.(25) ilustrou um polinômio p em função do tempo contínuo t , dado pelo somatório de um fator t regido por algum grau de potência $k_9 - n_9$, multiplicado por um coeficiente C_{n_9} [61]:

$$p(t) = \sum_{n_9=0}^{k_9} C_{n_9} t^{k_9-n_9} \quad (25)$$

A Equação anterior é a generalização de qualquer polinômio. A Eq. (26) simbolizou uma Função de Transferência T em função da frequência complexa s , obtida a partir da razão de dois polinômios da forma da Eq. (25):

$$T(s) = \frac{\sum_{n_{10}}^{k_{10}} D_{n_{10}} s^{k_{10}-n_{10}}}{\sum_{n_{11}}^{k_{11}} E_{n_{11}} s^{k_{11}-n_{11}}} \quad (26)$$

As Funções de Transferência são utilizadas amplamente para representar modelos físicos, como velocidade, fluxo, densidade e diversas outras grandezas [4].

A extração de frações parciais a partir da Função de Transferência simplifica a expressão, sendo viável a aplicação da Transformada Inversa de Laplace. Para obterem-se as frações, deve-se, a priori, fatorar-se os polinômios em função de seus polos, assim, o número de frações será equivalente ao número de raízes do polinômio divisor. A posteriori, com a montagem das frações parciais, são obtidos resíduos e constantes. Os polos e resíduos podem ser complexos ou reais, além de poder haver repetição de polos. Neste trabalho, utilizou-se a função *residue* do MATLAB®, para obtenção das frações parciais.

$$T(s) = \frac{(s - F_1) \cdots (s - F_{n_{12}})}{(s - G_1) \cdots (s - G_{n_{13}})} \quad (27)$$

sendo a Eq. (27) uma Função de Transferência expandida da Eq. (26), com $F_1, \dots, F_{n_{12}}$ polos do polinômio numerador e $G_1, \dots, G_{n_{13}}$ polos do polinômio denominador, com n_{12} e n_{13} sendo os graus dos respectivos polinômios [2].

$$T(s) = \frac{s - R_1}{(s - G_1)} + \dots + \frac{s - R_{12}}{(s - G_{12})} + K_1 \quad (28)$$

A Eq. (28) mostra a configuração de polos simples, nos quais, os resíduos R são reais, além da possível constante K_1 [2].

$$T(s) = \frac{s - R_{1'}}{(s - G_1)} + \frac{s - R_{2'}}{(s - G_1)^2} + \dots + K_2 \quad (29)$$

A Eq. (29) mostra a configuração de polos repetidos, na qual, a raiz G_1 se repete mais de uma vez, com uma possível constante K_2 [2].

$$T(s) = \frac{s - (h + jv)}{(s - G_1)} + \frac{s - (h - jv)}{(s - G_2)} + \dots + K_3 \quad (30)$$

A Eq. (30) mostra a configuração de polos complexos da forma da Eq. (17), na qual, a raiz G_2 é conjugada de G_1 , assim como os resíduos de ambas as frações. $h + jv$ é o resíduo complexo deixado por um polo complexo, com uma possível constante K_3 .

RECORRÊNCIAS TRIGONOMÉTRICAS

Nesta subseção, ilustraram-se recorrências da trigonometria para auxílio nos cálculos.

Seja uma soma de um seno e cosseno de mesma fase, adaptado de [4], pode-se reduzir a somente um termo senoide:

$$M_1 \cos(\omega t) + M_2 \sin(\omega t) = -\sqrt{M_1^2 + M_2^2} \sin\left(\omega t + \tan^{-1} \frac{-M_2}{M_1} + \frac{\pi}{2}\right) \quad (31)$$

sendo M_1 e M_2 a amplitude de $\cos(\omega t)$ e $\sin(\omega t)$, com ω sendo a frequência angular das senoides.

$$e^{j\alpha t} = \cos(\alpha t) + j\sin(\alpha t) \quad (32)$$

sendo a Eq. (32) a expansão de uma exponencial complexa cuja frequência angular α é real e positiva, dada em radianos.

$$e^{-j\beta t} = \cos(\beta t) - j\sin(\beta t) \quad (33)$$

sendo a Eq. (33) a expansão de uma exponencial complexa, cuja frequência angular β é real e positiva, dada em radianos.

III-MEMORIAL DE CÁLCULO:

Da Figura 1, adotou-se o sentido horário de correntes e aplicou-se a Lei de Kirchhoff das Tensões e obteve-se o seguinte sistema linear, de acordo com a Eq. (34), que possui três malhas. Sendo $i_{1c}(t)$, $i_{2c}(t)$ e $i_{3c}(t)$ as correntes elétricas das malhas da esquerda, central e da direita, respectivamente, na etapa de carga em função do tempo e $u(t)$ o degrau da fonte de tensão, também em função do tempo.

$$\begin{cases} 72i_{1c}(t) - 60i_{2c}(t) + 0i_{3c}(t) = 24u(t)V \\ -60i_{1c}(t) + \left[66i_{2c}(t) + 3\frac{di_{2c}(t)}{dt} + 27\int_0^t i_{2c}(t)dt \right] + \left[-6i_{3c}(t) - 3\frac{di_{3c}(t)}{dt} - 27\int_0^t i_{3c}(t)dt \right] = 0 \\ 0i_{1c}(t) + \left[-6i_{2c}(t) - 3\frac{di_{2c}(t)}{dt} - 27\int_0^t i_{2c}(t)dt \right] + \left[46i_{3c}(t) + 3\frac{di_{3c}(t)}{dt} + 27\int_0^t i_{3c}(t)dt \right] = 0 \end{cases} \quad (34)$$

Aplicou-se a transformada de Laplace na Eq. (34), com o resultado ilustrado na Eq.(35):

$$\begin{bmatrix} 72 & -60 & 0 \\ -60 & \frac{27}{s} + 66 + 3s & -\frac{27}{s} - 6 - 3s \\ 0 & -\frac{27}{s} - 6 - 3s & \frac{27}{s} + 46 + 3s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{1c}(s) \\ I_{2c}(s) \\ I_{3c}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{24}{s} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (35)$$

Sendo $I_{1c}(s)$, $I_{2c}(s)$ e $I_{3c}(s)$ as correntes elétricas nas malhas a esquerda, central e da direita, respectivamente, na etapa de carga em função da frequência complexa s . Obteve-se o determinante Δ_c do sistema da Eq. (35), de acordo com a Eq.(36), a partir da Regra de Cramer, mostrada na Eq.(14):

$$\Delta_c = \begin{vmatrix} 72 & -60 & 0 \\ -60 & \frac{27}{s} + 66 + 3s & -\frac{27}{s} - 6 - 3s \\ 0 & -\frac{27}{s} - 6 - 3s & \frac{27}{s} + 46 + 3s \end{vmatrix} = \frac{10800s^2 + 50400s + 97200}{s} \quad (36)$$

Obteve-se o determinante Δ_{1c} , que compõe a função de transferência de $I_{1c}(s)$, mostrada na Eq.(37), utilizou-se o mesmo método que a Eq.(36):

$$\Delta_{1c} = \begin{vmatrix} \frac{24}{s} & -60 & 0 \\ 0 & \frac{27}{s} + 66 + 3s & -\frac{27}{s} - 6 - 3s \\ 0 & -\frac{27}{s} - 6 - 3s & \frac{27}{s} + 46 + 3s \end{vmatrix} = \frac{7200s^2 + 72000s + 64800}{s^2} \quad (37)$$

Deduziu-se o determinante Δ_{2c} , que compõe a função de transferência de $I_{2c}(s)$, na Eq.(38):

$$\Delta_{2c} = \begin{vmatrix} 72 & \frac{24}{s} & 0 \\ -60 & 0 & -\frac{27}{s} - 6 - 3s \\ 0 & 0 & \frac{27}{s} + 46 + 3s \end{vmatrix} = \frac{4320s^2 + 66240s + 38880}{s^2} \quad (38)$$

Arranjou-se o determinante Δ_{3c} , que compõe a função de transferência de $I_{3c}(s)$, visualizado na Eq.(39):

$$\Delta_{3c} = \begin{vmatrix} 72 & -60 & \frac{24}{s} \\ -60 & \frac{27}{s} + 66 + 3s & 0 \\ 0 & -\frac{27}{s} - 6 - 3s & 0 \end{vmatrix} = \frac{4320s^2 + 8640s + 38880}{s^2} \quad (39)$$

Com os valores as Eqs. (36-39), montou-se as funções de transferência, que compõem a solução do sistema, como mostra a Eq. (14):

$$I_{1c}(s) = \frac{72s^2 + 720s + 648}{108s^3 + 504s^2 + 972s} \quad (40)$$

$$I_{2c}(s) = \frac{432s^2 + 6624s + 3888}{1080s^3 + 5040s^2 + 9720s} \quad (41)$$

$$I_{3c}(s) = \frac{432s^2 + 864s + 3888}{1080s^3 + 5040s^2 + 9720s} \quad (42)$$

Extraiu-se a fração parcial das Eqs. (40 - 42), a partir da função *residue* do MATLAB®, de acordo com as Eqs. (27-30).

$$I_{1c}(s) = \frac{-0,94j}{s + 2,33 - 1,88j} + \frac{+0,94j}{s + 2,33 + 1,88j} + \frac{2}{3s} \quad (43)$$

$$I_{2c}(s) = \frac{-1,13j}{s + 2,33 - 1,88j} + \frac{+1,13j}{s + 2,33 + 1,88j} + \frac{2}{5s} \quad (44)$$

$$I_{3c}(s) = \frac{0,28j}{s + 2,33 - 1,88j} + \frac{-0,28j}{s + 2,33 + 1,88j} + \frac{2}{5s} \quad (45)$$

Aplicou-se a Transformada Inversa de Laplace, mostrada na Eq. (20) nas Eqs. (43 - 45), na finalidade de transferir a função, que estava na frequência s para o tempo t :

$$i_{1c}(t) = (e^{-2,33t+1,88jt}(-0,94j) + e^{-2,33t+1,88jt}(0,94j) + \frac{2}{3})u(t) \quad (46)$$

$$i_{2c}(t) = (e^{-2,33t+1,88jt}(-1,13j) + e^{-2,33t+1,88jt}(1,13j) + \frac{2}{5})u(t) \quad (47)$$

$$i_{3c}(t) = (e^{-2,33t+1,88jt}(0,28j) + e^{-2,33t+1,88jt}(-0,28j) + \frac{2}{5})u(t) \quad (48)$$

Expandiu-se as exponenciais complexas presentes nas Eqs. (46 - 48), como mostrado nas Eqs. (32 - 33):

$$(e^{-2,33t+1,88jt}) = (e^{-2,33t})(\cos(1,88t) + j \operatorname{sen}(1,88t)) \quad (49)$$

$$(e^{-2,33t-1,88jt}) = (e^{-2,33t})(\cos(1,88t) - j \operatorname{sen}(1,88t)) \quad (50)$$

Simplificou-se o resultado das correntes, com o agrupamento de termos semelhantes:

$$i_{1c}(t) = \left(\frac{2}{3} - 1,88e^{-2,33t} \operatorname{sen}(1,88t)\right)u(t) \quad (51)$$

$$i_{2c}(t) = \left(\frac{2}{5} + 2,26e^{-2,33t} \operatorname{sen}(1,88t)\right)u(t) \quad (52)$$

$$i_{3c}(t) = \left(\frac{2}{5} - 0,56e^{-2,33t} \operatorname{sen}(1,88t)\right)u(t) \quad (53)$$

O resultado das Eqs. (51 - 53) é fundamental para a obtenção das condições iniciais da etapa de descarga. Para o indutor, é ilustrada pela Eq.(54):

$$i_l(t)_{t \rightarrow 7^-} = i_{2c}(7^-) - i_{3c}(7^-) = 0 \quad (54)$$

Obteve-se a tensão inicial no capacitor a partir da Eq. (6), a partir da integração da diferença das correntes $i_{2c}(t)$ e $i_{3c}(t)$ no tempo, de acordo com a Eq. (55):

$$v_c(t) = 27 \int (i_{2c}(t) - i_{3c}(t))dt = \quad (55)$$

Substitui-se o a representação simbólica das correntes da Equação anterior pela sua representação algébrica, como mostrado na Eq. (56)

$$27 \int 2,82e^{-2,33t} \operatorname{sen}(1,88t)dt \quad (56)$$

Integrou-se a Eq.(56), obteve-se uma outra integral, mostrada na Eq.(57).

$$\frac{v_c(t)}{76,33} = \frac{-\cos(1,88t) e^{-2,33t}}{1,88} \Big|_0^t - \frac{2,33}{1,88} \int_0^t \cos(1,88t) e^{-2,33t} dt \quad (57)$$

Integrou-se novamente, para determinar a resposta da condição inicial:

$$\begin{aligned} \frac{v_c(t)}{76,33} = & \frac{-\cos(1,88t) e^{-2,33t}}{1,88} \Big|_0^t - \frac{2,33 \sin(1,88t) e^{-2,33t}}{1,88^2} \Big|_0^t \\ & - \left[\frac{2,33}{1,88} \right]^2 \int_0^t \sin(1,88t) e^{-2,33t} dt \end{aligned} \quad (58)$$

Substituiu-se $\frac{v_c(t)}{76,33}$ por $\int_0^t \sin(1,88t) e^{-2,33t} dt$, na Eq.(58):

$$\begin{aligned} \left[\frac{2,33^2 + 1,88^2}{1,88^2} \right] \int_0^t \sin(1,88t) e^{-2,33t} dt = & \frac{-\cos(1,88t) e^{-2,33t}}{1,88} \Big|_0^t \\ & - \frac{2,33 \sin(1,88t) e^{-2,33t}}{1,88^2} \Big|_0^t \end{aligned} \quad (59)$$

Isolou-se $\int_0^t \sin(1,88t) e^{-2,33t} dt$, somou-se termos semelhantes, visto na Eq.(60):

$$\int_0^t \sin(1,88t) e^{-2,33t} dt = \left[\frac{1,88^2}{8,96} \right] \left[\frac{-\cos(1,88t) e^{-2,33t}}{1,88} \Big|_0^t - \frac{2,33 \sin(1,88t) e^{-2,33t}}{1,88^2} \Big|_0^t \right] \quad (60)$$

Substituiu-se $\int_0^t \sin(1,88t) e^{-2,33t} dt$ por $\frac{v_c(t)}{76,33}$, multiplicou-se ambos lados da igualdade por 76,33 e simplificou-se a parte direita da igualdade:

$$v_c(t) = \left[\frac{76,33}{8,96} \right] [-1,88 \cos(1,88t) e^{-2,33t} \Big|_0^t - 2,33 \sin(1,88t) e^{-2,33t} \Big|_0^t] \quad (61)$$

Obteve-se a tensão $v_c(t)$:

$$v_c(t) = 76,33 [-0,20 \cos(1,88t) e^{-2,33t} - 0,25 \sin(1,88t) e^{-2,33t}] \Big|_0^t \quad (62)$$

Simplificou-se com base na Eq. (31)

$$v_c(t) = [-25,43 \sin(1,88t + 0,891 + 1,57)] \Big|_0^t \quad (63)$$

Aplicou-se os limites de integração na Equação anterior:

$$v_c(t) = 15,97 - 25,43 \sin(1,88t + 0,679) u(t) \quad (64)$$

Com a equação de carga do capacitor, tomou-se $v_c(7^-) = 15,97 \text{ V}$. Na análise, arredondou-se este resultado para 16 V. Com este resultado, analisou-se a etapa de descarga, com a modelagem do sistema, que neste caso compõe duas malhas, a partir do diagrama da Figura (1):

$$\begin{cases} \left[66i_{2d}(t) + 3\frac{di_{2d}(t)}{dt} + 27\int_0^t i_{2d}(t)dt \right] - \left[-6i_{3d}(t) - 3\frac{di_{3d}(t)}{dt} - 27\int_0^t i_{3d}(t)dt \right] = 0 \\ \left[-6i_{2d}(t) - 3\frac{di_{2d}(t)}{dt} - 27\int_0^t i_{2d}(t)dt \right] + \left[46i_{3d}(t) + 3\frac{di_{3d}(t)}{dt} + 27\int_0^t i_{3d}(t)dt \right] = 0 \end{cases} \quad (65)$$

Sendo $i_{2d}(t)$ e $i_{3d}(t)$ as correntes elétricas das malhas de meio e da direita, respectivamente, na fase de descarga, em função do tempo t . A corrente $i_{1d}(t)$ tende a zero com a abertura da chave. Com as condições iniciais do indutor e capacitor, nas Eq. (54) e Eq. (63), respectivamente, aplicou-se a Transformada de Laplace:

$$\begin{bmatrix} \frac{27}{s} + 66 + 3s & -\frac{27}{s} - 6 - 3s \\ -\frac{27}{s} - 6 - 3s & \frac{27}{s} + 46 + 3s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{2d}(s) \\ I_{3d}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{16}{s} \\ \frac{16}{s} \end{bmatrix} \quad (66)$$

sendo $I_{2d}(s)$ e $I_{3d}(s)$ as correntes elétricas das malhas do meio e da direita, respectivamente, na fase de descarga, em função da frequência complexa s .

$$\Delta_d = \begin{vmatrix} \frac{27}{s} + 66 + 3s & -\frac{27}{s} - 6 - 3s \\ -\frac{27}{s} - 6 - 3s & \frac{27}{s} + 46 + 3s \end{vmatrix} = \frac{300s^2 + 3000s + 2700}{s} \quad (67)$$

sendo Δ_d o determinante do sistema da Eq. (66)

Obteve-se o determinante Δ_{2d} , que compõe a função de transferência de $I_{2d}(s)$, do sistema da Eq. (66):

$$\Delta_{2d} = \begin{vmatrix} -\frac{16}{s} & -\frac{27}{s} - 6 - 3s \\ \frac{16}{s} & \frac{27}{s} + 46 + 3s \end{vmatrix} = \frac{-640}{s} \quad (68)$$

Obteve-se o determinante Δ_{3d} , que compõe a função de transferência de $I_{3d}(s)$, do sistema da Eq. (66):

$$\Delta_{3d} = \begin{vmatrix} \frac{27}{s} + 66 + 3s & -\frac{16}{s} \\ -\frac{27}{s} - 6 - 3s & \frac{16}{s} \end{vmatrix} = \frac{960}{s} \quad (69)$$

Montou-se as funções de transferência de $I_{2d}(s)$ e $I_{3d}(s)$ com base na Eq. (14)

$$I_{2d}(s) = \frac{-64}{30s^2 + 300s + 270} \quad (70)$$

$$I_{3d}(s) = \frac{96}{30s^2 + 300s + 270} \quad (71)$$

Extraiu-se a fração parcial das Eqs. (69 - 70), a partir da função *residue* do MATLAB®:

$$I_{2d}(s) = \frac{0,26}{s + 9} - \frac{0,26}{s + 1} \quad (72)$$

$$I_{3d}(s) = \frac{-0,4}{s + 9} + \frac{0,4}{s + 1} \quad (73)$$

Aplicou-se a Transformada Inversa de Laplace, mostrada na Eq. (20) nas Eqs. (71 - 72):

$$i_{2d}(t) = 0,26[e^{-9t} - e^{-t}] u(t) \quad (74)$$

$$i_{3d}(t) = 0,26[e^{-9t} - e^{-t}] u(t) \quad (75)$$

Aplicou-se um deslocamento no tempo sobre os resultados das Eqs. (74 - 75) de sete segundos para frente no tempo, pelo fato da chave ser aberta em $t = 7s$

$$i_{2d \rightarrow 7s}(t) = 0,26(e^{-9t+63} - e^{-t+7})u(t - 7) \quad (76)$$

$$i_{3d \rightarrow 7s}(t) = 0,4(e^{-9t+63} - e^{-t+7})u(t - 7) \quad (77)$$

Em síntese, a equação das correntes $i_1(t)$, $i_2(t)$ e $i_3(t)$:

$$i_1(t) = \begin{cases} 0, t \leq 0 \\ \left(\frac{2}{3} + 1,88e^{-2,33t} \text{sen}(1,88t) \right) u(t), 0 \leq t \leq 7 \\ 0, t > 7 \end{cases} \quad (78)$$

$$i_2(t) = \begin{cases} 0, t \leq 0 \\ \left(\frac{2}{5} + 2,26e^{-2,33t} \text{sen}(1,88t) \right) u(t), 0 \leq t \leq 7s \\ 0,26(e^{-9t+63} - e^{-t+7})u(t - 7), t > 7s \end{cases} \quad (79)$$

$$i_3(t) = \begin{cases} 0, t \leq 0 \\ \left(\frac{2}{5} - 0,56e^{-2,33t} \text{sen}(1,88t) \right) u(t), 0 \leq t \leq 7s \\ 0,4(e^{-9t+63} - e^{-t+7})u(t - 7), t > 7s \end{cases} \quad (80)$$

Antes de 0, a entrada de tensão do sistema é zero. Depois de zero, o sistema age na etapa de carga, representado nas Eqs. (78 – 80) pelas expressões cujo intervalo é entre zero e sete segundos. Após sete segundos, o sistema age na etapa de descarga, sendo representado pelas últimas expressões dos sistemas nas mesmas equações.

IV-SCRIPT IMPLEMENTADO NO MATLAB®

```

% s é a variável de frequência complexa%
syms s
%M é a matriz do sistema, D1 é seu determinante%
matriz_carga = [72,-60,0;-60,(27/s)+(66)+(3.*s),(-27/s)+(-6)+(-3.*s);0,(-27/s)+(-6)+(-3.*s),(27/s)+(46)+(3.*s)]
D1=det(matriz_carga)
%M_1 é a matriz da equação de I1, D2 é seu determinante%
M_1 = [24/s,-60,0;0,(27/s)+(66)+(3.*s),(-27/s)+(-6)+(-3.*s);0,(-27/s)+(-6)+(-3.*s),(27/s)+(46)+(3.*s)]
D2=det(M_1)
%M_2 é a matriz da equação de I2, D3 é seu determinante%
M_2 = [72,24/s,0;-60,0,(-27/s)+(-6)+(-3.*s);0,0,(27/s)+(46)+(3.*s)]
D3=det(M_2)
%M_3 é a matriz da equação de I3, D4 é seu determinante%

M_3 = [72,-60,24/s;-60,(27/s)+(66)+(3.*s),0;0,(-27/s)+(-6)+(-3.*s),0],
D4=det(M_3)
%dil é o vetor de coeficientes de D1%
%nil1 é o vetor de coeficientes de D2%
%nil2 é o vetor de coeficientes de D3%
%nil3 é o vetor de coeficientes de D4%
dil = [10800,50400,97200,0]
nil1 = [7200,72000,64800]
nil2=[4320,66240,38880]
nil3=[4320,8640,38880]
%r1,r2,r3 são os resíduos%
%p1,p2,p3 são os polos%
%k1,k2,k3 são as constantes%
[r1,p1,k1]=residue(nil1,dil)
[r2,p2,k2]=residue(nil2,dil)
[r3,p3,k3]=residue(nil3,dil)
matriz_descarga=[3.*s+66+27/s,-3.*s-6-27/s;-3.*s-6-27/s,3.*s+46+27/s]
det(matriz_descarga)
M_4=[-16/s,-3.*s-6-27/s;16/s,3.*s+46+27/s]
det(M_4)
dil=[300,3000,2700]
nil1=[0,0,-640]

```

```

M_5=[3.*s+66+27/s,-16/s;-3.*s-6-27/s,16/s]
det(M_5)
nil2=[0,0,960]
[r2,p2,k2]=residue(nil2,dil)
%as correntes:
syms i1(t);
i1(t) = piecewise(t<7,2/3+exp(-
7.*t/3).*1.8856.*sin(1.8856.*t),t>=7,0)
t=0:0.01:15
xvalues=t
yvalues=i1(xvalues);
i1values=yvalues;
syms i2(t);
i2(t) =piecewise(t<7,0.4+2.2628.*sin(1.8856.*t).*exp(-
2.3333.*t),t>=7,0.2667.*(exp(-9.*t+63)-exp(-t+7)))
yvalues=i2(xvalues);
i2values=yvalues;
syms i3(t);
i3(t) = piecewise(t<7,2/5-0.5656.*sin(1.8856.*t).*exp(-
7.*t/3),t>=7,0.4.*(-exp(-9.*t+63)+exp(-t+7)))
yvalues=i3(xvalues);
i3values=yvalues;
plot(xvalues,i1values,'DisplayName','i1(t) -
MATLAB','LineStyle','-','LineWidth',1.4)

hold on
plot(xvalues,i2values,'DisplayName','i2(t) -
MATLAB','LineStyle','-','LineWidth',1.4)
hold on
plot(xvalues,i3values,'DisplayName','i3(t) -
MATLAB','LineStyle','-','LineWidth',1.4)
hold on
legend()
title('Comportamento transiente das correntes')
set(gca,'xtick',0:1:15)
set(gca,'ytick',-0.3:0.1:1.2)
xlabel('Tempo (s)')
ylabel('Corrente (A)')

```

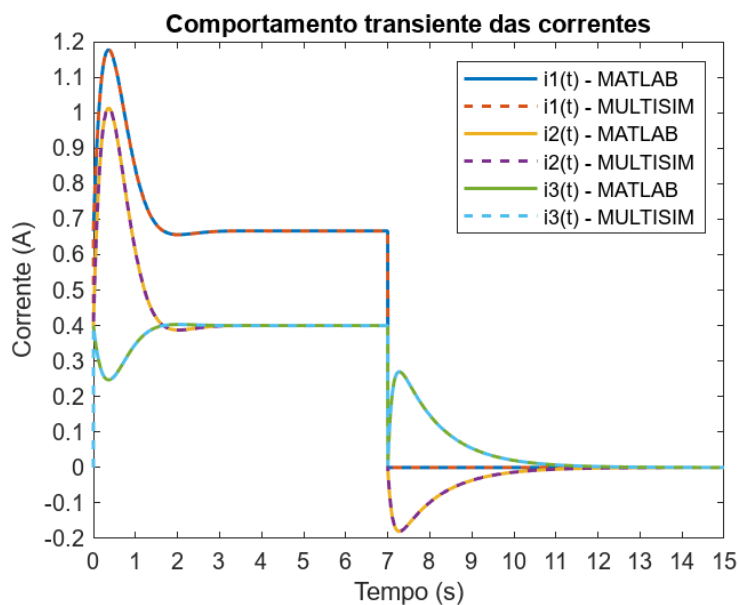
V-RESULTADOS

A Figura 3 exibe o comportamento transiente e permanente das correntes em cada malha do circuito ilustrado na Figura 1, além de estabelecer uma comparação entre os valores obtidos no simulador MULTISIM® e os valores obtidos pela modelagem do sistema no MATLAB®, constata-se de um erro inferior a 1%.

Percebe-se que as correntes, na etapa da carga, entram em regime permanente entre 3 e 4 segundos. Aos 7 segundos, a chave é aberta e o circuito assume apenas as duas malhas da direita, sendo a

descarga. Assim, a corrente da malha da esquerda cai para zero subitamente, as outras duas também caem para zero porém com comportamento transiente.

Figura 3: Resultados das correntes obtidas via simulação.



VI-CONCLUSÃO

Concluiu-se que a Transformada de Laplace se firma como uma ótima ferramenta para análise de sistemas lineares no tempo, importante para o estudo de circuitos elétricos e diversos outros sistemas físicos. A solução de sistemas como o apresentado neste trabalho, por meio de métodos no tempo, se torna recursivamente exaustivo.

VII-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]"História do ábaco" em Só Matemática. Virtuoso Tecnologia da Informação, 1998-2023. Disponível em <https://www.somatematica.com.br/historia/abaco.php>. Acesso em: 07 set. 2023.
- [2]LATHI, B. P. Sinais e sistemas lineares. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- [3]ZILL, G., Dennis. Equações diferenciais com aplicações em modelagem. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2016.
- [4]SADIKU, Matthew N.O. Análise de circuitos elétricos com aplicações. 5. ed. Porto Alegre: Amgh, 2014.
- [5]NUSSENZVEIG, Herch Moysés. Curso de física básica, v. 3: eletromagnetismo. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2015.
- [6]SILVA, Victor Augusto da; PONTIM, Flavia Macedo; OLIVEIRA, João Matheus Simm de; OLIVEIRA, Luan; ROSSINI, Flávio Luiz. Aplicação da Transformada de Laplace para a Modelagem e Análise de um Circuito RLC de Três Malhas. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/770607f58f687b73453929fe56d0ac9d9ac034ab042bc0e64072b8b90768db27802.pdf>. Acesso em: 04 dec. 2023.
- [7]DONDA, Rafael Angelini; VIGLUS, Francisco José; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem Matemática, Simulação e Validação Experimental de um Conversor CC-CC Buck Síncrono. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/13684f5963266936d32a9fd58d4dbcf5227a84b94e421695baaabbf6971de590ee982.pdf>. Acesso em: 04 dec. 2023.
- [8]ANDRADE, Patricia de Azevedo; SILVA, Luiz Eduardo da Cruz; ROSSINI, Flávio Luiz. Análise de Circuito Elétrico RLC de Três Malhas via Transformada de Laplace com Softwares Matlab® e LTspice®. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1385-555f8de349bbc8aa7c8bc5fe5621a7bdcf369b3d4e555e681528449d05d62fed.pdf>. Acesso em: 04 dec. 2023.
- [9]SEIFERT, Nicholas; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem no Domínio do Tempo e Solução no Domínio da Frequência de Circuito Passivo Chaveado de Três Malhas. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/4312c8e0637c263042c2cda7279ab9152729265528f16adf19a312676ceb5a58469.pdf>. Acesso em: 04 dec. 2023.
- [10]SANTOS, Otávio Amaro de Paula dos; BEZERRA, Matheus dos Santos; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem no Domínio do Tempo, Solução via Transformada de Laplace e Análise das Formas de Onda de Circuito Elétrico RLC Chaveado. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1119273fdd50d70f957c2049c4cb733bbfbcb3a3ac140015f5ccc37511e31b541e501.pdf>. Acesso em: 04 dec. 2023.

[11]MARAN, Matheus Eduardo dos Santos; PRADELA, Walter Gabriel Lopes; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem no Domínio do Tempo, Discretização com Segurador de Ordem Zero e Simulação Computacional de um Circuito Passivo. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/55415241c3f7833f712d1aef527331266986fdec801538fed9005ecb5bd0b909d2c.pdf>. Acesso em: 04 dec. 2023.

[12]FIGUEIREDO, Gustavo; SOUZA, Julio Cesar de; OLIVEIRA, Pedro Henrique Molina; ROSSINI, Flávio Luiz. Solução e Análise das Formas de Onda de Sistema Linear, Discreto e Invariante no Tempo. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1395-73709f521d592983364c94fcf5bc79ed558665009290a70f6f02434daaebf35a.pdf>. Acesso em: 04 dec. 2023.

[13]LUZ, Ezequiel de Carvalho; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem, Solução e Análise de Circuito RLC Paralelo via Transformada de Laplace e uso dos Softwares Matlab® e LTspice®. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite-trabalhos-finais/1378-62571b21cf94861b1535847e22286c433bfddd7073015dfa8d932782d128a7b9.pdf>. Acesso em: 04 dec. 2023.

[14]SILVA, Victor Augusto da; OLIVEIRA, Luan; SEIFERT, Nicholas; OLIVEIRA, João Matheus Simm de; PONTIM, Flavia Macedo; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem no Domínio do Tempo e Aplicação da Transformada de Laplace na Solução e Análise de um Circuitos RLC com Três Malhas. In: SILVA, Victor Augusto da et al. Cidades inteligentes e novos modelos industriais. 2. ed. [S. l.]: Amplla Editora, 2023. p. 62-84. ISBN 9786553811324. Disponível em: <https://doi.org/10.51859/amplla.cin3224-5>. Acesso em: 4 dez. 2023.

[15]SANTOS, Otávio Amaro de Paula dos; BEZERRA, Matheus dos Santos; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem no Domínio do Tempo, Solução via Transformada de Laplace e Análise das Formas de Onda de Circuito Elétrico RLC Chaveado. In: SANTOS, Otávio Amaro de Paula dos; BEZERRA, Matheus dos Santos; ROSSINI, Flávio Luiz. Engenharia: a máquina que constrói o futuro. [S. l.]: Editora ConhecimentoLivre, 2023. ISBN 9786553673731. Disponível em: <https://doi.org/10.37423/230808076>. Acesso em: 4 dez. 2023.

[16]PAWELSKI, Lucas; ROSSINI, Flávio Luiz; COLDEBELLA, Henrique. Desenvolvimento de um aplicativo estimador não paramétrico de função de transferência de processos industriais (EnPFTPI). In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Santa Helena, 2022. Disponível em: [https://www.even3.com.br/anais/seisicite2022/546232-desenvolvimento-de-um-aplicativo-estimador-nao-parametrico-de-funcao-de-transferencia-de-processos-industriais-\(e/](https://www.even3.com.br/anais/seisicite2022/546232-desenvolvimento-de-um-aplicativo-estimador-nao-parametrico-de-funcao-de-transferencia-de-processos-industriais-(e/). Acesso em: 07 jul. 2023.

[17]GERALDI, Marcelo Theis; SOUZA, Dionni Fernando Rodrigues de; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem Dinâmica de Circuito RLC Chaveado com Topologia Mista e Análise Numérica através do Método de Runge-Kutta de Quarta Ordem. In: III Simpósio de Tecnologia e Engenharia Eletrônica - III SIMTEEL, Campo Mourão, 2016.

- [18] NAKASHIMA, Alison Shigueo; SIQUEIRA, Manuella Ferreira; YAMAO, Vitor Henrique Seiji; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem, Simulação e Análise de Sistema Massa-Mola-Amortecedor com Não Linearidade. In: III Simpósio de Tecnologia e Engenharia Eletrônica - III SIMTEEL, Campo Mourão, 2016.
- [19] CRUZ, Lucas Martinez da; LEÃO, Andressa; CHICHANOSKI, Gustavo; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem e Simulação da Dinâmica Não-Linear em Retificadores Monofásicos Meia-Onda Carga RL. In: III Simpósio de Tecnologia e Engenharia Eletrônica - III SIMTEEL, Campo Mourão, 2016.
- [20] SANTOS, Andressa Cristina Kuibida dos; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem Dinâmica e Comparação entre a Solução Algébrica e Numérica, através do Método de Euler, à Circuito Elétrico RLC Série. In: VI Ciclo de Palestras: Perspectivas Matemáticas - VI CIPEM, Campo Mourão, 2016.
- [21] COLAUTO NETO, Alexandre; CASTRO, Alisson de Souza; OLIVEIRA JÚNIOR, Virgílio; ROSSINI, Flávio Luiz. Descrição Matemática do Comportamento Dinâmico de Circuito Elétrico Não Linear com Topologia Mista. In: XX Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Campo Mourão, 2015.
- [22] ROSSINI, Flávio Luiz; LOBEIRO, Adilandri Mércio; BOROMELO, Viviane Colucci; SILVA, Edilza Martins da; HÜBNER, Rodrigo; FOLEISS, Juliano Henrique. Análise de Carga em um Circuito Elétrico Passivo com Topologia Paralela por meio do Método de Diferenças Finitas. In: IV Ciclo de Palestras: Perspectivas Matemáticas - IV CIPEM, Campo Mourão, 2014.
- [23] SILVA, Leonardo Gomes da; CAUN, Rodrigo da Ponte; NUNES, Willian Ricardo Bispo Murbak; ALMEIDA, Thales Eugenio Portes de; ROSSINI, Flávio Luiz. Projeto e Implementação de um Sistema de Controle Robusto com um Grau de liberdade. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicitetrabalhos finais/96077413cfcf42656708028f80d5a147e276de7ca889458ea0a1a357d49a0713814.pdf>. Acesso em: 04 dec. 2023.
- [24] CANHAN, Diego Carrião; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. Projeto e Análise de Desempenho de Algoritmos de Estimção Paramétrica Aplicados ao Controle Adaptativo por Modelo de Referência. In: CANHAN, D.C.; BROLIN, L.C.; ROSSINI, F.L.. Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos 6. [S. l.]: Aya Editora, 2023. p. 42-54. ISBN 9786553792555. Disponível em: <https://doi.org/10.47573/aya.5379.2.186.3>. Acesso em: 13 set. 2023.
- [25] COLDEBELLA, Henrique; ROSSINI, Flávio Luiz. Design and Simulation of a Model Reference Adaptive Control System Using the Recursive Least Squares Method with Forgetting Factor for Gain Adjustment. In: COLDEBELLA, H.; ROSSINI, F.L.. Development and Its Applications in Scientific Knowledge. [S. l.]: Seven Editora, 2023. p. 3499-3515. ISBN 978-65-84976-28-3. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/devopinterscie-287>. Acesso em: 18 maio 2023.
- [26] CANHAN, Diego Carrião; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. Design, simulation and analysis of challenges of parametric estimation algorithms applied to adaptive control by reference model. In: CANHAN, D.C.; BROLIN, L.C.; ROSSINI, F.L.. Development and its applications in scientific knowledge. [S. l.]: Seven Editora, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/devopinterscie-247>. Acesso em: 13 set. 2023.

[27]COLDEBELLA, Henrique; ROSSINI, Flávio Luiz. Desenvolvimento e Implementação do Método dos MQR-FE Acoplado a um Sistema de CAMR. In: COLDEBELLA, H.; ROSSINI, F.L.. Engenharia de controle e automação: estudos fundamentais. [S. l.]: Editora Conhecimento Livre, 2023. ISBN 9786553672604. Disponível em: <https://doi.org/10.37423/230107095>. Acesso em: 13 set. 2023.

[28]DONDA, Rafael Angelini; ROSSINI, Flávio Luiz. Projeto, Simulação e Análise de um Sistema de Controle por Modo Deslizante Aplicado ao Conversor CC-CC Buck: estudo de caso. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Santa Helena, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/seisicite2022/548919-projeto-simulacao-e-analise-de-um-sistema-de-controle-por-modo-deslizante-aplicado-ao-conversor-cc-cc-buck--estu/>. Acesso em: 06 set. 2023.

[29]CANHAN, Diego Carrião; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. Comparação entre Estimadores Paramétricos Aplicados ao Controle Adaptativo por Modelo de Referência. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Santa Helena, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/seisicite2022/548540-comparacao-entre-estimadores-parametricos-aplicados-ao-controle-adaptativo-por-modelo-de-referencia/>. Acesso em: 06 set. 2023.

[30]COLDEBELLA, Henrique; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. Comparação entre Algoritmos de Adaptação Paramétrica aplicados ao Projeto de Controlador Adaptativo por Modelo de Referência. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Santa Helena, 2022. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/seisicite2022/548802-comparacao-entre-algoritmos-de-adaptacao-parametrica-aplicados-ao-projeto-de-controlador-adaptativo-por-modelo-de/>. Acesso em: 06 set. 2023.

[31]COLDEBELLA, Henrique; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. Análise de algoritmos de estimação paramétrica aplicados ao projeto de controlador adaptativo por modelo de referência. In: COLDEBELLA, H.; BROLIN, L.C.; ROSSINI, F.L.. Engenharia elétrica: sistemas de energia elétrica e telecomunicações 2. [S. l.]: Atena Editora, 2022. p. 47-58. ISBN 9786525807270. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.2702211114>. Acesso em: 13 set. 2023.

[32]CANHAN, Diego Carrião; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. Aplicação do método do gradiente e do método dos mínimos quadrados recursivo para análise de desempenho do controle adaptativo por modelo de referência. In: CANHAN, D.C.; BROLIN, L.C.; ROSSINI, F.L.. Engenharia elétrica: sistemas de energia elétrica e telecomunicações 2. [S. l.]: Atena Editora, 2022. p. 91-100. ISBN 9786525807270. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.2702211118>. Acesso em: 13 set. 2023.

[33]DONDA, Rafael Angelini; ROSSINI, Flávio Luiz. Projeto, simulação e análise de um sistema de controle por modo deslizante aplicado ao conversor cc-cc buck: estudo de caso. In: DONDA, R.A.; ROSSINI, F.L.. Engenharia elétrica: sistemas de energia elétrica e telecomunicações 2. [S. l.]: Atena Editora, 2022. p. 1424. ISBN 9786525807270. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.2702211112>. Acesso em: 13 set. 2023.

[34]ROSSINI, Flávio Luiz; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de; GIESBRECHT, Mateus. Identificação recursiva de sistemas dinâmicos contínuos variantes no tempo através do filtro de kalman estendido e da filtragem de variáveis de estado pelo método dos mínimos quadrados recursivos. In: ROSSINI, F.L.;OLIVEIRA,L.F.P.;GIESBRECHT,M..DesvendandoaEngenharia:suaabrangênciademultidisciplinaridade Volume2.S.I.]:EditoraCientíficaDigital,2021.p.284302.Disponívelem:<https://doi.org/10.37885/210404090>. Acesso em: 13 set. 2023.

[35]ROSSINI, Flávio Luiz. Métodos de Filtragem, Estimação e Controle Adaptativo Indireto Aplicados a Sistemas de Teleoperação Bilateral. pt. PhD thesis. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação UniversidadeEstadualdeCampinas,2020,p.92.Disponívelem:https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP-30_a4357c8ea5602bb2b5b0d556e8c3a91e. Acesso em: 06 set. 2023.

[36]LUIZ ROSSINI, Flávio; SANTOS MARTINS, Guilherme; PAULO SILVA GONÇALVES, João; GIESBRECHT, Mateus. Recursive identification of continuous time variant dynamical systems with the extended kalman filter and the recursive least squares state-variable filter. In: 15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATICS IN CONTROL, AUTOMATION AND ROBOTICS, 2018, Porto, Portugal. 15th international conference on informatics in control, automation and robotics. [S. I.]: SCITEPRESS - ScienceandTechnologyPublications,2018.ISBN9789897583216.Disponívelem:<https://doi.org/10.5220/0006865504680475>. Acesso em: 13 set. 2023.

[37]ROSSINI, Flávio Luiz; GIESBRECHT, Mateus. Identificação recursiva de sistemas dinâmicos contínuos variantes no tempo através do filtro de kalman estendido e da filtragem de variáveis de estado pelo método dos mínimos quadrados recursivos. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 2018, João Pessoa, Paraíba, Brasil. XXII Congresso Brasileiro de Automática. Joao Pessoa, Paraíba, Brasil: SBA Sociedade Brasileira de Automática, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.20906/cps/cba2018-0169>. Acesso em: 13 set. 2023.

[38]BARROZO, Yuri Ruzzene; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem Matemática e Lei de Controle para o Robô Manipulador Puma 560. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário deIniciaçãoCientíficaeTecnológicadaUTFPR,PontaGrossa,2023.Disponívelem:<https://seisicite.com.br/storage/seisicitetrabalhos finais/1396b59fad92f9135c91a83a846309bcaf932497a1424a6d7eae826994ff7772de78.pdf>. Acesso em: 04 dec. 2023.

[39]BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; GARCIA, Lucas Ricken; CUNHA, Marcio Rodrigues da; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem e Simulação da Cinemática Direta de um Robô Móvel de Três Rodas com Tração Diferencial. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de IniciaçãoCientíficaeTecnológicadaUTFPR,PontaGrossa,2023.Disponívelem:<https://seisicite.com.br/storage/seisicitetrabalhos finais/11034319d5d6514993af9a1f90540918b99cd1746e145f6cf690b5e0c0f62ece771c.pdf>. Acesso em: 04 dec. 2023.

[40]SILVA JUNIOR, Paulo Roberto Machado; ALCANTARA, Carlos Vinicius Boduar de; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem Cinemática e Simulação do Robô Manipulador SCARA RH-3FRHR35 com Fixação Superior, Fabricante Mitsubishi. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicitetrabalhos finais/12425774dc898fc34571c5a99a2ce390c2fb2879ad8bbf64ce2679d20019d20ef389.pdf>. Acesso em: 04 dec. 2023.

[41]REZENDE, Luiz Gustavo; ROSSINI, Flávio Luiz. Simulação da Cinemática Inversa de um Robô SCARA através da Implementação de Algoritmos por Métodos Numéricos. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite trabalhos finais/10306e8692fec9f5f2ab4d8afc8731acc92f7728f53607852cc10cc16def5e9d3215.pdf>. Acesso em: 04 dec. 2023.

[42]TAKANO, Gabriele Vilas Boas Takano; TANK, Jonatas Silva; SILVA, Luana Aparecida Santos da; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem e Simulação da Cinemática Direta do Multifuncional T3-401S Synthis Robô SCARA, Fabricante Epson. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite trabalhos finais/12387e7c319b5b15be5b653a4cc91d8e32a6d5ecd49ea2c7d2b3e6f1864d1066d620.pdf>. Acesso em: 04 dec. 2023.

[43]LIMA, Bruno Suracci de; ROSSINI, Flávio Luiz. Proposta de modelagem da cinemática, implementação computacional da cinemática inversa quanto a posição e orientação de robô manipulador 6-DOF. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023. Disponível em: <https://seisicite.com.br/storage/seisicite trabalhos finais/9618a5a4bf29c285d0131b3a0fdedcf0d351f814c1672861b2f6b5887301a6ef784.pdf>. Acesso em: 04 dec. 2023.

[44]ROSSINI, Flávio Luiz; ABREU, Leonardo de Melo; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de. Modelagem Cinemática, Planejamento e Geração de Trajetória para um Robô Modelo SCARA através de Aplicativo para Análise Gráfica. In: ROSSINI, F.L.; ABREU, L.M.; OLIVEIRA, L.F.P.. Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos 7. [S. l.]: Aya Editora, 2023. p. 43-58. ISBN 9786553792999. Disponível em: <https://doi.org/10.47573/aya.5379.2.211.4>. Acesso em: 13 set. 2023.

[45]ROSSINI, Flávio Luiz; LIMA, Bruno Suracci de; CORRÊA, João Henrique Dias; LOPES, João Marcos Pericaro; BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; BARROZO, Yuri Ruzzene. Modeling, Simulation, Motion Trajectory Planning and Nonlinear Control in the Joint Space of the Manipulator Robot SCARA T3 401SS Manufacturer Epson. In: ROSSINI, F.L. et al. Development and its applications in scientific knowledge. [S. l.]: Seven Editora, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/devopinterscie-248>. Acesso em: 13 set. 2023.

[46]ABREU, Leonardo De Melo; ROSSINI, Flávio Luiz; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de. Modelagem cinemática de um robô modelo SCARA e desenvolvimento de aplicativo para análise gráfica. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Santa Helena, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.29327/1152426.1-2>. Acesso em: 13 set. 2023.

[47]SOUZA, Eber Delgado de; ROSSINI, Flávio Luiz; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de. Desenvolvimento de um Aplicativo no Ambiente App Designer do Software Matlab® para Planejamento de Trajetória do Robô Puma 560. In: SOUZA, E.D.; ROSSINI, F.L.; OLIVEIRA, L.F.P.. Engenharia elétrica e de computação: docência, pesquisa e inovação tecnológica. [S.l.]: Atena Editora, 2023. p. 87-109. ISBN 9786525809465. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316018>. Acesso em: 13 set. 2023.

[48]ROSSINI, Flávio Luiz; LOPES, João Marcos Pericharo; ABREU, Leonardo de Melo; BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de. Modelagem, simulação e controle de trajetória do robô manipulador scara sr-6 ia através de um aplicativo matlab®. In: ROSSINI, F.L. et al. Ciências exatas estudos e desafios. [S. l.]: Brazilian Journals Editora, 2022. p. 248-278. ISBN 9786581028824. Disponível em: <https://doi.org/10.35587/brj.ed.0001995>. Acesso em: 13 set. 2023.

[49]OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de; ROSSINI, Flávio Luiz; SILVA, Manuel Fernando; MOREIRA, Antonio Paulo. Modeling, Simulation and Implementation of Locomotion Patterns for Hexapod Robots. In: 2020 IEEE CONGRESO BIENAL DE ARGENTINA (ARGENCON), 2020, Resistencia, Argentina. 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON). [S. l.]: IEEE, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/argencon49523.2020.9505570>. Acesso em: 13 set. 2023.

[50]OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto; ROSSINI, Flavio Luiz. Modeling, Simulation and Analysis of Locomotion Patterns for Hexapod Robots. IEEE Latin America Transactions, v. 16, n. 2, p. 375-383, fev. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/tla.2018.8327389>. Acesso em: 13 set. 2023.

[51]LIMA, Bruno Suracci de; ROSSINI, Flávio Luiz; CORRÊA, João Henrique Dias; LOPES, João Marcos Pericharo; BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; BARROZO, Yuri Ruzzene. Modelagem, Simulação e Análise de Movimento do Robô Manipulador SCARA T3 401SS Fabricante EPSON. In: LIMA, B.S. et al. Engenharia elétrica: Sistemas de energia elétrica e telecomunicações. [S. l.]: Atena Editora, 2022. p. 108-125. Disponível em: <https://doi.org/10.22533/at.ed.0022217088>. Acesso em: 13 set. 2023.

[52]ROSSINI, Flávio Luiz; LIMA, Bruno Suracci de; CORRÊA, João Henrique Dias; LOPES, João Marcos Pericharo; BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; BARROZO, Yuri Ruzzene. Modelagem, Simulação, Planejamento de Trajetória e Controle Não Linear no Espaço de Juntas de Movimento do Robô Manipulador SCARA T3 401SS - Epson. In: ROSSINI, F.L. et al. Engenharia: a máquina que constrói o futuro. [S. l.]: Editora Conhecimento Livre, 2023. ISBN 9786553673106. Disponível em: <https://doi.org/10.37423/230407596>. Acesso em: 13 set. 2023

[53]SANCHES, Hugo Eduardo; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem e Controlador um Manipulador Robótico. Journal of Exact Sciences - JES, v. 9, n. 1, p. 5-13, 8 abr. 2016. Disponível em: https://www.mastereditora.com.br/periodico/20160728_073843.pdf. Acesso em: 13 set. 2023.

[54]ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem Matemática da Dinâmica do Robô Manipulador RC 180, Empresa EPSON, via Formulação Lagrangiana. II Simpósio De Tecnologia e Engenharia Eletrônica - II SIMTEEL, Campo Mourão, 2014.

[55]MARTINES, Francine; MELO, Larissa; CHICHANOSKI, Gustavo; MUNARINI, Bruno; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem Matemática da Cinemática Direta do Robô Manipulador SCARA Modelo G-10/G-20. In: V Ciclo de Palestras: Perspectivas Matemáticas - V CIPEM, Campo Mourão, 2015.

[56]PENHA, Bruno Schuavab; QUEIROZ, Mariana Emer; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem e Análise da Cinemática Direta e Inversa de Manipulador Robótico com Cinco Juntas Rotativas. In: III Simpósio de Tecnologia e Engenharia Eletrônica - III SIMTEEL, Campo Mourão, 2016.

[57]FUDOLI, Fábio; BLESSA, Lucas; SOUZA, Júlio; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem da Cinemática Direta e Inversa do Robô SCARA EPSON G10-851S. In: III Simpósio de Tecnologia e Engenharia Eletrônica - III SIMTEEL, Campo Mourão, 2016.

[58]SANTOS, Matheus Araújo dos; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem Matemática e Simulação da Cinemática Direta do Robô Manipulador com Seis Juntas Rotativas - 6 GL. In: III Simpósio De Tecnologia e Engenharia Eletrônica - III SIMTEEL, Campo Mourão, 2016.

[59]CHICHANOSKI, Gustavo; MUNARINI, Bruno Lucas; ROSSINI, Flávio Luiz. Modelagem da Cinemática Direta do Robô Manipulador RV-2AJ de 6 Graus de Liberdade da Industrial Robot Mitsubishi - estudo de caso. In: XX Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Campo Mourão, 2015.

[60]IEZZI, Gelson; HAZZAN, Samuel. Fundamentos de matemática elementar, 4: sequências, matrizes, determinantes e sistemas. 5. ed. São Paulo: Atual, 1993.

[61]IEZZI, Gelson; HAZZAN, Samuel. Fundamentos de matemática elementar, 6: complexos, polinômios e equações. 8. ed. São Paulo: Atual, 2013.

ENGENHARIA: A MÁQUINA QUE CONSTRÓI O FUTURO

VOLUME XVII



conhecimentolivre.org/home



contato@conhecimentolivre.org



[editoraconhecimentolivre](https://www.instagram.com/editoraconhecimentolivre)



EDITORIA CONHECIMENTO LIVRE