

ENGENHARIAS: BENEFÍCIOS PARA A INDÚSTRIA E PARA A SOCIEDADE

Amanda Fernandes Pereira da Silva
(Organizadora)

ENGENHARIAS:

BENEFÍCIOS PARA A INDÚSTRIA

E PARA A SOCIEDADE

Amanda Fernandes Pereira da Silva
(Organizadora)

Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Daphynny Pamplona

Luiza Alves Batista

Natália Sandrini de Azevedo

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2022 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2022 Os autores

Copyright da edição © 2022 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial**Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto

Profª Drª Alana Maria Cerqueira de Oliveira – Instituto Federal do Acre

Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie

Profª Drª Ana Paula Florêncio Aires – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro

Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás

Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná



Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Bitencourt Campos – Universidade do Extremo Sul Catarinense
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Prof. Dr. Miguel Adriano Inácio – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista



Engenharias: benefícios para a indústria e para a sociedade

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadora: Amanda Fernandes Pereira da Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E57 Engenharia: benefícios para a indústria e para a sociedade / Organizadora Amanda Fernandes Pereira da Silva. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2022.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-258-0343-2

DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.432222806>

1. Engenharia. 2. Indústria. 3. Sociedade. I. Silva, Amanda Fernandes Pereira da (Organizadora). II. Título.

CDD 620

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos - CRB-8/9166

Atena Editora

Ponta Grossa - Paraná - Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br



Atena
Editora
Ano 2022

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.



DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.



APRESENTAÇÃO

Um paradigma que expande seu domínio de conceitos teóricos para aplicações no mundo real, é o campo das Engenharias. É capaz de incorporar muitos conceitos tecnológicos em diferentes setores. Juntamente com a pesquisa e a busca por inovações frente ao serviço da indústria, possibilita a existência de uma transição de serviços que contemplem uma indústria mais sustentável, centrado na sociedade e resiliência.

Nesse contexto, o intuito da obra “Engenharias: Benefícios para a indústria e para a sociedade” foi de colaborar com pesquisas que abordem a inovação aprimorada para a indústria e o ser humano afim de impulsionar e corroborar ideias de pesquisa que se utilizem da sustentabilidade como estratégia principal. Em todos os trabalhos fornecidos compreende-se a busca por alternativas viáveis e sustentáveis com relação à medicamentos, energias alternativas e menos poluentes, otimização no uso de máquinas e consumos de energia, reutilização de resíduos e áreas correlacionadas.

A necessidade de mudanças tem sido reconhecida pela indústria há bastante tempo e é motivada devido aos potenciais impactos ambientais, altos investimentos nas tecnologias de fabricação de materiais e, conseqüentemente, agravamento de desigualdades de impacto social. Desta maneira, é importante a disseminação de pesquisas que englobem aspectos ecológicos e sociais, que tenham como foco a economia atrelada aos benefícios e oportunidades sociais que resultem em sustentabilidade.

Em face ao exposto, esta obra abrange estudos práticos da área de engenharia realizados por pesquisadores do país que enfatizam essencialmente indústria-engenharia de sucesso para construir um meio mais sustentável adequado ao contexto real.

Amanda Fernandes Pereira da Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

APPLICATION OF THE SIX SIGMA METHODOLOGY FOR THE LONGEVITY OF BON TOOLS IN TAB BOND MACHINES

José Heriberto Simental Vázquez

Sergio Escobedo Soto

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4322228061>

CAPÍTULO 2..... 13

UMA PROPOSTA PARA SE AGREGAR VALOR ENERGÉTICO A RESÍDUOS SÓLIDOS DE QUALQUER TIPO DE MADEIRA

Sérgio Renato da Silva Soares

Marcelo Mendes Vieira

Karolina Fernandes

Robson Leal da Silva

Luana Góes Soares da Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4322228062>

CAPÍTULO 3..... 25

BANCADA DE GERAÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO O PRINCÍPIO INVERSO DA ROSCA DE ARQUIMEDES

Carolina Bruski Gonçalves

Paulo Marcos Flores

Rodrigo José Maslonek

Eliara Marin Piazza

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4322228063>

CAPÍTULO 4..... 40

A MINERAÇÃO E O USO DOS MINERAIS EM ELEMENTOS DO COTIDIANO: MEDICAMENTOS

Rafaela Baldi Fernandes

Alan Henrique Carneiro Brito

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4322228064>

CAPÍTULO 5..... 47

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CAL COMO ADIÇÃO EM ARGAMASSAS CONVENCIONAIS

Amanda Fernandes Pereira da Silva

Alefen Silva de Sousa

Halisson Diogo de Moura Leal

João Bráz Araújo Neto

Marcos Alécio Campos da Silva

Danilo Teixeira Mascarenhas de Andrade

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.4322228065>

SOBRE A ORGANIZADORA..... 60

| | |
|-----------------------|----|
| ÍNDICE REMISSIVO..... | 61 |
|-----------------------|----|

CAPÍTULO 1

APPLICATION OF THE SIX SIGMA METHODOLOGY FOR THE LONGEVITY OF BON TOOLS IN TAB BOND MACHINES

Data de aceite: 01/06/2022

José Heriberto Simental Vázquez

Tecnológico Nacional de Mexico campus
Tecnológico de Ciudad Juárez
Departament Metal Mecánica
Ciudad Juárez Chihuahua

Sergio Escobedo Soto

Tecnológico Nacional de Mexico campus
Tecnológico de Ciudad Juárez
Departament Metal Mecánica
Ciudad Juárez Chihuahua

ABSTRACT: The research was increase longevity of the bond tools on the other hand it serves to ensure adherence in the terminal with the pad (area of soldering in the integrated circuit) when the Tab Bond machines apply ultrasound solder through the tip or bond tool. It has variability in used each machine and shift of the analyzed history. Application of the Six Sigma methodology, the results after several design of experiments, it was obtained that the variables with the most influence were temperature and force that affect tip wear, the temperature was controlled on the pedestal with a thermometer to 175°C (degrees Celsius) and with a control graph, the force range was increased from 90 to 170 grams force, on the other hand, the pull test in the terminal was improved obtaining cp and cpk (process capability) greater than 1, in the 22 terminals; therefore lengthening the change time at the bond tools to maintain good adhesion not less than 30 pound force. The consumable

was reduced by 10%, increasing the number of bonds greater than 1,000,000 per tip, concluding a savings of \$ 18,000.

KEYWORDS: Six Sigma, ultrasound solder, design of experiments, pull test, and bond tool.

1 | INTRODUCTION

Any process that generates defects incurs unnecessary costs that companies sometimes cover by increasing their sales prices and causing customers to look for other price options more suited to their needs. Managers have realized that this is not the best solution to their problems and have looked for another way to combat them. From the above, the Six Sigma (6s) philosophy was born, created in 1980 by the Motorola organization, a discipline for the reduction of defects in manufacturing processes, applied to service organizations (Harry, 2000). This methodology is focused on customer satisfaction throughout the development of the product until the final delivery. Its processes and methodology allow to eliminate the variability in the processes and reach a level of defects less than or equal to 3.4 defects per million (Valles, 2002). This project focuses on the application of the Six Sigma methodology for the longevity of bond tools in Tab Bond machines.

2 | MATERIALS AND METHOD

The Six Sigma methodology is made up

of 5 stages that are described below.

2.1 Define

The output characteristics are the specifications or requirements of the clients which are called Critical for Satisfaction (CTS) and have control support in the waste reports and in the history of the use of the tips (maintenance), and it is divided into:

Critical to Quality (CTQ). - For the Production Department it is necessary to maintain the current quality level or increase it.

Delivery Critical (CTD).- This study does not have this critic for either of the two clients, since the operation is relatively fast, however, the possibility that this critic may arise during some step is not ruled out. In the development of the project.

Critical to Cost (CTC). - The need of the Warehouse Department is to decrease the number of tips and, therefore, the cost incurred by the lack of control in said use.

Critical to the Environment, Safety (CTX). - This type of critic is also absent for both clients, however, it may be possible that it appears when deepening the knowledge of the process.

2.2 Measure

During this measurement phase, the current situation was analyzed, beginning by defining what is important for the client, the lack of control of the use of bond tools using a (cause-effect diagram) figure 1 to recognize the situations that cause process failures.

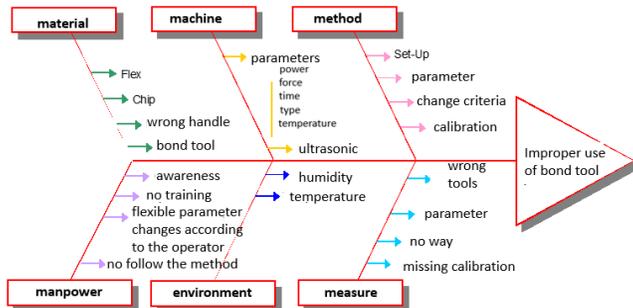


Figure 1 Cause-Effect Diagram

With the information it was already possible to determine which machines spend the most bond tools and start with their analysis and corrective actions. The cause-effect matrix allowed us to relate what is most important to customers and how current process data influences them, so it is possible to start by improving what is predominant in said relationship. By qualification obtained, the three main factors that have the greatest influence on welding within ranges, the useful life of the bond tool and the frequency of stops due to

its change were:

1st calibration and the different set up both with 207 points

2nd mishandling of material with 177 points

3rd the force-power with 167 points

The change of the bond tools was analyzed, since it is done without first verifying that the rejection of the sample by weak solder is due to other parameters, that is, it may be that the tip and the height between the bond tool and the bonding area or adherence is not adequate, among others. Adjustments are made to the machine during calibration but do not ensure that the parameters are appropriate and are limited to changing the bond tool. To collect the information on the machines it was necessary to resort to the maintenance history about the use of bond tools, with this, study data was obtained, in which the date and number of bond tools that were taken from the inventory, the machines in which they were recorded. They placed the product they make and the cell to which they belong. The time is established in the original inventory database and this determines the shift during which shift. This was carried out for the period during the months of July and August.

When obtaining the inventory history and looking at the variation between the machines, it was necessary to compare against the number of bond tools that each should consume in a month, although currently there is no data on the number of them that a machine should use, but it is found approximately between 4 to 5 of them per month. The difference in use is found not only between the machines but also between the shifts, this adds one more variable to the study, it is unknown why one shift spends more than the other.

Figure 2 shows a bar graph that compares the use of bond tools between the shifts of the 36 machines, obtaining that shift A consumes 77, B = 122, C = 78 and D = 34 during July-August. Due to the fact that the product with the highest consumption is the model call Yellow Stone Mono manufactured with four machines, the decision was made to study the TB 101 and TB 144 machines. The inspection tests are carried out by the "pull test" machines. When a pull test detects that the terminal of the integrated circuit is poorly soldered (weak), it is attributed to the wear of the bond tool, thus increasing the parameter force and power or change it.

The independent variables and constant parameters are shown in table 1. There is a 100% reliability in the welding machines that come from a certain manufacturer, which are calibrated by maintenance personnel every 3 months, by ruling out this possible source of variation or error, we have to accept that it comes from the machine operator, since it can change the operating parameters of the machine according to your convenience.

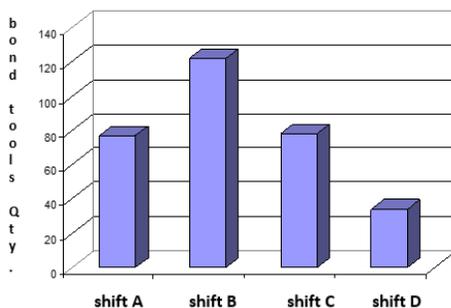


Figure 2 Graph of consumption of bond tools per shift period July to August

The criterion of the operator is involved when there is a need to change a bond tool according to the information that the pull test, however, to know how the machine is working, samples have been taken from those that have resulted with the highest use of this; two samples of size $n = 22$ were taken for the TB 144 and TB 101 machines. The data was verified to be normal.

| VARIABLE | CONSTANTS |
|---------------------------------------|--|
| Flatness of the die and flexible roll | Strength from 120 to 170 (grams strength) |
| Height 3680 +/- 50 | Power from 110 to 160 or up to 215 maximum micro inch width. |
| Perpendicularity | Bond Time. |
| | Type of Power (Ramp, squad and explosion). |
| | Notepad temperature (200 to 300 degrees centigrade). |

Table 1. Tab bond Operation Parameters

The specification that the client requires on 60 lbF (pound force) mean, the minimum of 30lbF and the upper limit of 90lbF.

Objective 1. - Control a C_p and C_{pk} (process capability) between 1 to 1.33 and not have a C_{pk} greater than 2 or 3, because this makes the bond tool wear more.

Objective 2. - That the test has consistency of adherence of the terminals with the soldering area on the integrated circuit (pad), on both sides of the integrated circuit (chip).

Objective 3. - Reduce the consumable by 10%, looking for the root cause of why some machines have a lot of variation.

Objective 4. - Reduce the variation between machines number of bonding $> 1,000,000$.

Objective 5. - Develop an experiment design to optimize the use of the bond tools.

Objective 6. - Train personnel to manage parameters and raise awareness to reduce wear.

2.3 Identify and Analyze

A Multivariable analysis was performed, a graphical tool that evaluates how an x affects a Y, and also evaluates the combination of several x's affecting a Y, to relate the behavior of the machines with the highest consumption of points in each of the shifts of the business. Figure 3 shows the consumption of tips relating the shift and the machines. Figure 4 shows in detail the variation in the four machines and the inconsistency of consumption between the four shifts.

Figure 5 shows that shifts A and C consume a similar amount of tips, while shift B is the one that consumes more and D is the least expensive, this raises the following questions: What does shift D consume the least number of tips than the rest of the turns? And what does turn B do to spend more tips than the rest of the turns? What makes the TB 144 machine consume more tips than other machines?

Figure 6 shows the consumption separately for each of the shifts, where the variation in consumption between the machines for each of them is reaffirmed, as previously analyzed in figure 4, here it is also easy to see that in general the highest consumption is concentrated in turbo B and the minor on turn D. From all of the above, as a conclusion of the Multi-Vari analysis, we have that: there are differences in criteria between operators of the same shift (between machines) and between the criteria of operators between shifts.

As an action plan, it was necessary to carry out an R&R analysis to see if there are differences in the method of increasing strength, power and the decision to change the tip by the operator and to unify the criteria. The Gage R & R method tells us that there is a respectability of 92.31% between operators, consistency and it maintains its criteria the same among the tests that the same operator does.

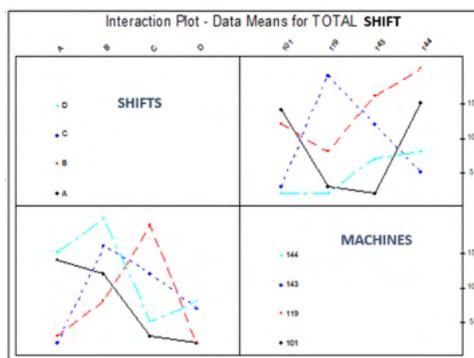


Figure 3 Multi-Vari analysis of shifts and machines

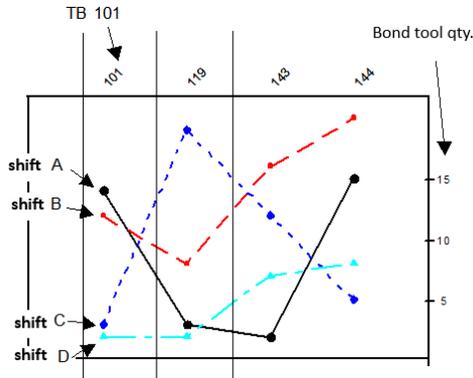


Figure 4 Multi-Vari (second quadrant detail)

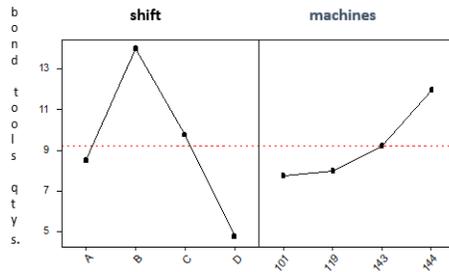


Figure 5 Main effect graphics

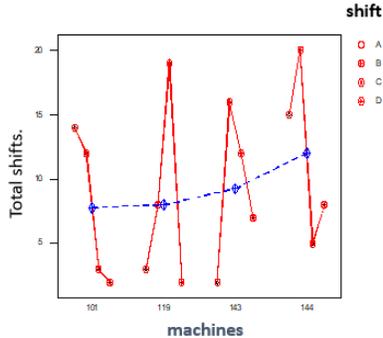


Figure 6 Multi-Vari general shift-machine relationship

To know the variables that have the most impact for better adherence, the factors used are: power, force, Time BT (Bond Time milliseconds), and Type & Temperature with two levels. Where Y = Reduce the wear of the bond tool, representing all the X variables. Table 2 shows factors and levels used for the design of experiments to start playing with the levels and ranges to analyze.

| | Factors | Nivel 1 | Nivel 2 |
|--------------|--------------------------------|---------|---------|
| Y = tip wear | Micro inch power | 70 | 190 |
| | Force (grams force) | 80 | 190 |
| | Time milli seconds | 15 | 25 |
| | Type | Square | Burst |
| | Temperature degrees centigrade | 140 | 250 |

Table 2 Factors and levels used for the design of experiments.

Procedure recommended by Montgomery (1991). Using the Minitab as a statistical tool, the corresponding run was made with the variables described above with a run of 24 combinations and 1 replicate. It can be seen that the two factors with the greatest influence on the Minitab results are:

a) Power: A T of 19.5 and a P of 0.000

b) Temperature: A T of 7.57 and a P of 0.000

Figure 7 below shows the variables that are significant, all the variables that the red line touches are significant. Showing that the first is force, the second is temperature, which are the variables that will continue to be used in the following experiments. Figure 8 shows the slopes of the variables which means that the more slope the more influence it has with respect to the adherence of the terminal with the pad or soldering area. The equation to optimize the parameters is as follows:

$$Y = -52.3692 + 0.0456319(X1) + 0.348766(X2) + 1.45876(X3) - 1.55042(X4) + 0.0449614(X5) - 0.00474697(X2)(X3) + 0.000904270(X2)(X5)$$

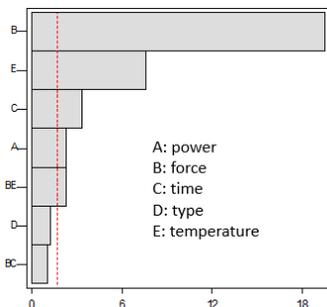


Figure 7 Most significant variables of the experiment.

Once the most relevant factors were obtained, that is, force and temperature, a second design of experiments was carried out for both. Obtaining the data shown in Table

3 with force values at 140 and temperature at 240°C, an average of 82.71 adherence was obtained in the pull test, an acceptable value. The question arose whether there was any restriction on the temperature to which the chip is subjected in the semiconductor process, so a third experiment was carried out, obtaining results that represented in Figure 9 indicate that the higher the temperature and the greater the adhesion.

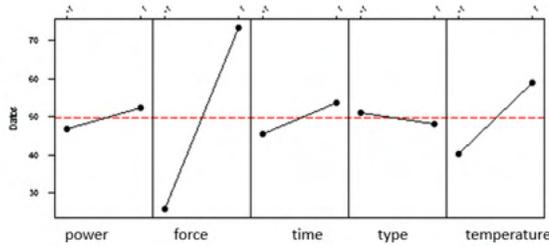


Figure 8 Slope of the variables

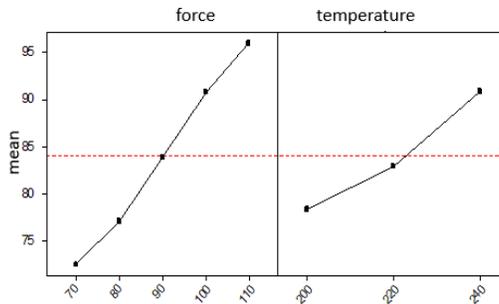


Figure 9 Force and temperature with respect to the mean lbF

Figure 10 shows the behavior of the mean with the variables force and temperature. Once the parameters that allow obtaining quality welds and at the same time maximizing the useful life of the tip were determined, tolerance ranges were established in which said parameters can vary without affecting the life of the tip and quality.

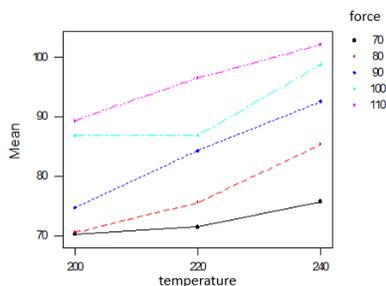


Figure 10 the mean lbF with temperature and force.

2.4 Define controls

According to the DOE carried out, Force and Power should start in measure 90, with a temperature of 175°C (degrees Celsius) constant on the calibrated pedestal, the compensation in the temperature control, both parameters (force and Power) will be increased from 5 to 5 starting at 90 until reaching 170 (grams force), when the pull test fails with these last parameters then the bond tool is changed, not before. The cp and cpk (process capability) obtained is 1.08 for TB 101 and the cpk is 1.28 obtained for TB 144. Table 3 shows the improvement after controlling the pedestal temperature and power and force in TB 101 and 144.

2.5 Implement Controls

Meanwhile temperature control at 175°C is performed by the equipment maintenance personnel as part of the machine setup. Next stage it is necessary to control the process with a control chart. Therefore to keep the average of mean close to 60 lbF in the pull test. Afterwards to realize that for this stage there need to train the personnel, as a series of resistance to carry out the control graph as not to raise the parameters of force and power until necessary. It is make a plan and design a control system that includes:

- i Training and raising awareness among staff on the uncontrolled use of the bond tools of force and power parameters (method on the criteria to change it).
- ii Changes the process of making two samples when the first has been rejected, increase power and force of 5 on 5 how to the process diagram shows.

| | TB 101 | | TB 144 | |
|--------------------------------|--------|---------|--------|---------|
| | before | after | before | after |
| LSL (lower limit) | 50 | 90 | 50 | 90 |
| USL (upper limit) | 110 | 150 | 110 | 150 |
| Cp (Process Capability) | 1.000 | 1.13 | 0.890 | 1.580 |
| Cpk (Process Capability Index) | 0.990 | 1.08 | 0.490 | 1.260 |
| Mean | 80.233 | 121.160 | 93.566 | 114.360 |
| Standard deviation | 10.040 | 8.800 | 11.200 | 6.330 |

Table 3 before and after controlling the pedestal temperature and power and force for TB 101 & 144

3 I RESULTS

After the implementation of the temperature control on the TB 101, showing the difference after the improvement that a single tip lasted more than 15 days. Saving bond tools from 3 to 1. The same saving behavior before and after the improvement in the pedestal

temperature control in TB 144 of (5 to 1). 5 in 15 days before improvement and 1 for 15 days after as well as increased range of force and power (90 to 170 grams force) and increased from 5 to 5: The explanation that is given for this project is the improvement in the control of force and power parameters that was necessary to carry out from September mentioned in the control stage. Savings of \$ 18,000 for the first year.

4 | CONCLUSIONS

Cp and Cpk were obtained between 1.00 and 1.26, causing the tip to have less wear. The consumable was reduced by 10%, on the other hand it was found two variables such as temperature and force for find the root cause of why some machines had so much variation. The Tab Bond machine increased the number of bonds greater than 1,000,000 per tip. It was checked with the design of experiments to optimize the use of it. With the Gage R & R study it was found that the personnel are trained, for future works the only thing that is lacking is the awareness of the personnel to manage parameters to reduce wear. It has been reduced that the technician has inventory having bond tools in the briefcases.

REFERENCIAS

Aleu F. Márquez L. (2002). “*Seis Sigma, Reduzca sus costos mientras elimina rechazos*”. Año 9. Número 88. Octubre 2002. Páginas: 76-78.

Berenson M. y Levine D. (1996). *Estadística Básica en Administración: Conceptos y Aplicaciones*. Prentice Hall Hispanoamericana S. A. Edo. México, México.

Besterfield D. (1995). *Control de Calidad*. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A. Mexico.

Bossidy L. (1995). *The CEO as Coach: An Interview with AlliedSignal Lawrence A. Bossidy*: by Noel M. Tichy and Ram charan, March-April, 1995, v. 73, n. 2, p. 68.

Box G. y Hunter W. (1978). *Statistic for Experiments*. Wiley. USA.

Brown S. y Morrinson G. (1991). *The Introduction to Six Sigma Methodology*. Trillas. USA.

Crosby P. (1987). *Quality without Tears*. McGraw Hill.

Eckes G. (2001). *The Six Sigma Revolution*. John Wiley & Sons. NY. USA.

Ellis K. (2001). *Mastering Six Sigma: Different Companies Implement Six Sigma in Different Ways, But Those Who Embrace The Methodology Share a Unifying Passing*. New México State University, Las Cruces, New México.

Feigenbaum A. (1994). *Control Total de la Calidad*. CECSA. México.

Forrest W. (2000). *Implementing Six Sigma: Smarter Solutions Using Statistical Methods*. Wiley Inter Science. New York, USA.

Greg Brue. (2003). "Six Sigma for Manager". *Is 14 in the Mc Graw Hill professional, serie top 50 bestseller and is available in 9 languages*. A favorite among university professors, Six Sigma for Manager Sigma 2003, and The Six Sigma 36 Hours Course 2004, also published by Mc Graw-Hill.

Harry M. y Schroeder R. (1992). *Six Sigma Productibility Analysis and Process Characterization*. Addison Wesley. Broadway NY. USA.

Hines W. y Montgomery D. (1972). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Administración*. Cecsa. México.

Gutiérrez H. y De la Vara R. (2005) *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma*. Mc Graw Hill Iztapalapa Mexico, D.F.

Juran M. (1988). *Juran on Planning For Quality*. Díaz de Santos. USA.

Krajewski L. y Ritzman L. (1999). *Administración de Operaciones, Estrategia y Análisis*. Prentice Hall. Mexico.

Mason R., Gunst R. y Hess J. (1989). *Statistical Design and Analysis of Experiment*. Wiley. Canada.

Miller J. (2001). *Six Sigma: Six Sigma Can Give Contractors a Quality Advantage*. New Mexico State University, Las Cruces, New México.

Montgomery D. (2001). *Introduction to Statistical Quality Control*. John Wiley & Sons, Inc. USA

Montgomery D. (1991). *Diseño y Análisis de Experimentos*. Grupo Editorial Iberoamérica. USA.

Pande P., Neuman R. y Cavanagh R. (2000). *The Six Sigma Way: How GE, Motorola and Other Top Companies are honing Their Performance*. Mc Graw-Hill. USA.

Portillo J. y Hernández A. (2004) University of Texas at El Paso: *Informe (Revista en español): Mural* (México D.F;

México), Feb 11, 2004. Copyright 2004. No. Article CJ113182088

Rath y Strong. (2000). *Six Sigma Pocket Guide*. AON Management Consulting. Lexington Massachusetts, USA.

Rodríguez M. A. (1992). *El Análisis de Atributos Clasificados en el Diseño de Experimentos*. Tesis de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial, Instituto Tecnológico de Cd. Juárez, Cd. Juárez Chihuahua, México.

Berenson M. y Levine D. (1996). *Estadística Básica en Administración: Conceptos y Aplicaciones*. Prentice Hall Hispanoamericana S.A. Edo. México, México.

Taguchi G. (1986). *Introduction to Quality Engineering*. Asian Productivity Center. Tokyo. Japón.

Taguchi G., Elsayed E. y Hsiang T. (1989). *Quality Engineering in Productions Systems*. Mc Graw-Hill. USA.

Tennant Geoff. (2002). "*Design for Six Sigma: Launching New Products and Services without Failure*", Abingdon, Oxon, GBR. Gower Publishing Limited.

Valles A. (2002) "*Filosofía Seis Sigma*". Revista Académica Cátedra. No 13. Año 2002. 52 paginas. 31-36.

Walpole M. (1999). *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*. Prentice may Hispanoamericana S. A. México.

UMA PROPOSTA PARA SE AGREGAR VALOR ENERGÉTICO A RESÍDUOS SÓLIDOS DE QUALQUER TIPO DE MADEIRA

Data de aceite: 01/06/2022

Data de submissão: 16/04/2022

Sérgio Renato da Silva Soares

Universidade Federal de Rondonópolis,
Departamento de Engenharia Mecânica
Rondonópolis - MT
<http://lattes.cnpq.br/7362119285991685>

Marcelo Mendes Vieira

Universidade Federal de Rondonópolis,
Departamento de Engenharia Mecânica
Rondonópolis – MT
<http://lattes.cnpq.br/3133241849751366>

Karolina Fernandes

Universidade Federal de Rondonópolis,
Departamento de Engenharia Mecânica
Rondonópolis – MT

Robson Leal da Silva

Universidade Federal da Grande Dourados,
Faculdade de Engenharia
DOURADOS – MS
<http://lattes.cnpq.br/9699385923297685>

Luana Góes Soares da Silva

Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
Departamento de Engenharia de Materiais
Porto Alegre – RS
<http://lattes.cnpq.br/8474215025680480>

RESUMO: É sabido que o aumento de densidade energética da madeira pode também ser obtido a partir da produção de briquetes de resíduos dessa biomassa. Em função da elevada

compactação desses resíduos, os briquetes obtidos a partir disso apresentam valores de densidade energética de duas a três vezes o valor obtido para madeira e até sete vezes a do próprio resíduo. O principal objetivo desse trabalho foi investigar em caráter exploratório, o efeito combinado da pressão e adição de sólidos carbonáceos a estrutura da madeira, no comportamento das propriedades energéticas, em especial, a densidade energética deste material. Diferentes resíduos de madeira de origem desconhecida na forma de galhos colhidos no campus da UFR foram usinados com dimensões próximas àquelas compactadas em diferentes pressões. Os resíduos de pó obtidos a partir do torneamento destes galhos com tamanho de partícula $\leq 0,85$ mm foram compactados em pressões de até 300 MPa. As amostras usinadas e os briquetes produzidos em diferentes pressões foram caracterizados via análise imediata, determinação do poder calorífico e medidas de densidade a granel e energética. Os resultados mostraram que a adição de sólidos carbonáceos à estrutura da madeira influenciou significativamente no comportamento das densidades a granel e energética deste material. Comparando-se os resultados foi possível identificar nas amostras saturadas com sólidos carbonáceos um aumento percentual na densidade energética de até 49,4%.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos de qualquer Madeira, Compactos de Madeira, Pressão de Compactação e Sólidos Carbonáceos.

ABSTRACT: It is known that increasing the energy density of wood can also be obtained from the production of briquettes from residues of this biomass. Due to the high compaction of these residues, the briquettes obtained from this have energy density values of two to three times the value obtained for wood and up to seven times that of the residue itself. The main objective of this work was to investigate, on an exploratory basis, the combined effect of pressure and addition of carbonaceous solids to the wood structure, on the behavior of energy properties, in particular, the energy density of this material. Different wood residues of unknown origin in the form of branches harvested at the UFR campus were machined with dimensions close to those compacted at different pressures. The powder residues obtained from the turning of these branches with particle size ≤ 0.85 mm were compacted at pressures of up to 300 MPa. The machined samples and the briquettes produced at different pressures were characterized via immediate analysis, determination of calorific value and bulk and energy density measurements. The results showed that the addition of carbonaceous solids to the wood structure significantly influenced the behavior of the bulk and energy densities of this material. Comparing the results, it was possible to identify in the samples saturated with carbonaceous solids a percentage increase in energy density of up to 49.4%.

KEYWORDS: Solid Waste of any Wood, Wood Compacts, Compaction Pressure and Carbonaceous Solids.

1 | INTRODUÇÃO

Embora o Brasil lidere a produção mundial de biomassa florestal, ele não possui ainda condições para atender em todas as regiões do país, a implementação de novos plantios florestais. Este é um dos desafios a vencer. Segundo o agrônomo e pesquisador da Embrapa Florestas, Antônio Francisco Jurado Bellote, a padronização dos plantios florestais, é um dos gargalos para a geração de energia porque as condições ambientais não são as mesmas em todas as regiões. Exemplo dessa realidade pode ser visto no estado do Mato Grosso. De acordo com informações recentes [1] esse é um dos estados que atualmente apresenta o maior desmatamento no Brasil. Suas florestas estão sendo derrubadas e as condições ambientais desse estado até o momento, um grande empecilho para que elas sejam repostas. Outro desafio interessante citado por Antônio Francisco Jurado Bellote é a necessidade do desenvolvimento de tecnologias de conversão dos plantios florestais, ou biomassa, em energia. Ele relata que “é preciso disponibilizar tecnologias mais eficientes e sustentáveis, ao mesmo tempo em que se deve desenvolver e adaptar outras tecnologias ainda não usadas ou em estado embrionário no Brasil”. De acordo com estudos anteriores [2], o balanço de carbono na planta é algo que está sendo bastante estudado atualmente. O objetivo é obter copas eficientes para a sua fixação e plantas eficientes para a sua utilização na produção de madeira. Para isso, é importante conhecer os mecanismos de crescimento das árvores e como elas respondem às utilizações dos recursos naturais. Do ponto de vista energético, isso gera um significativo aumento da densidade energética dessa biomassa, pois para um mesmo número de árvores derrubadas se tem uma maior

massa de madeira para ser usada. Entretanto como a produção bruta de biomassa é maior, e como a proporção de biomassa útil removível (madeira) é também maior, a remoção total de elementos nutrientes por hectare é também maior e mais impactante. Dentro disso a ciência e a tecnologia precisam encontrar caminhos para balancear adequadamente os ganhos de produtividade com os ganhos ou perdas ambientais. Por um lado, novas formulações de adubações e mesmo de irrigação como uma alternativa surgirão, procurando tornar o ecossistema mais equilibrado, menos vulnerável e mais sustentável. Mas por outro a busca de outras fontes energéticas de biomassas sólidas que atendam o referido equilíbrio descrito na frase anterior. Nesse sentido estudos para o aumento da densidade energética em biomassas sólidas tais como a madeira e seus resíduos têm sido desenvolvidos.

A madeira usada como fonte de energia apresenta em sua estrutura teores de carbono de aproximadamente 50% devido a sua perda durante o período em que esteve em pé como árvore, após o seu abate como madeira ou nas operações de seu beneficiamento, armazenamento e transporte [2]. Esta perda não contribui para o aumento da densidade energética desta biomassa. Uma alternativa para o aumento desta propriedade com tecnologia dominada e em processo de difusão é a desenvolvida para produção de briquetes. No caso da madeira, em função da elevada compactação de seus resíduos, os briquetes obtidos a partir disso apresentam valores de densidade energética de duas a três vezes o valor obtido para madeira e até cinco vezes a do próprio resíduo [3,4]. O aumento das propriedades energéticas da madeira e dos briquetes poderá ser significativamente elevado se estes materiais forem submetidos a técnicas de processamento tais como a carbonização e torrefação. Elas são muito usadas para aumentar o rendimento energético dessas biomassas [5,6,7]. No caso dos briquetes a densidade energética desta biomassa será significativamente aumentada. Embora essas técnicas sejam efetivas, a madeira de partida usada por elas é com uma deficiência aproximada de 50% de carbono. O aumento do teor desse elemento na madeira antes de ser submetida a uma dessas técnicas de processamento poderia aumentar significativamente as propriedades energéticas dessa biomassa, se o teor de carbono nesse material em sua origem fosse aumentado. Nesse sentido elevar a presença deste elemento na madeira através da sua saturação microestrutural com uma solução líquida enriquecida com sólidos carbonáceos, pode ser uma alternativa bastante interessante. A possibilidade de se aumentar o teor carbono na madeira de partida antes de seu uso para fins energéticos via técnicas tais como torrefação, é uma opção interessante para que se eleve a densidade energética deste material.

O objetivo desse trabalho foi desenvolver novos materiais a partir do aumento do teor de carbono em diferentes biomassas de madeira e investigar o seu efeito no comportamento de suas propriedades energéticas. O aumento do teor de carbono na microestrutura desta biomassa se deu via a sua imersão numa solução líquida enriquecida com sólidos carbonáceos. A simplicidade do procedimento para a produção desta solução a ser adotada

sem riscos significativos de segurança e geração de contaminação ambiental são atrativos interessantes que viabilizam a sua aplicação em escala industrial. As biomassas usadas nesse estudo foram resíduos de diferentes madeiras de origem desconhecida na forma de galhos colhidos no campus da Universidade Federal de Rondonópolis (UFR). Várias amostras cilíndricas com dimensões iguais deste material foram fabricadas via usinagem e compactação. Neste último caso, o pó gerado durante o torneamento das amostras usinadas, foi usado para a produção das compactadas. Os resultados obtidos mostraram que independente se a amostra manufaturada foi usinada ou compactada (briquete), o teor de carbono na forma de sólidos carbonáceos presentes na microestrutura destes materiais, contribuiu em especial para que a densidade energética aumentasse para valores de até 8196 MJ/m³. Em termos percentuais no presente estudo isto significa um aumento de até 49,4 %. Além disso, do ponto de vista energético, a possibilidade de se enriquecer a microestrutura de qualquer tipo de madeira com carbono como aquelas informadas na literatura [8], abre um caminho onde não somente ela, mas qualquer outro tipo de biomassa sólida, como aquelas apresentadas na literatura também possam ser enriquecidas. A perspectiva que se tem a partir deste fato é: a) uma significativa agregação de valor aos resíduos sólidos de biomassa; b) uma grande redução do descarte destes materiais como lixo nas regiões onde são gerados e consequentemente contribuição para sustentabilidade destas regiões; c) uma contribuição importante para a redução do desmatamento em várias regiões do país tais como a Centro-Oeste em especial, o estado de Mato Grosso onde a dificuldade é grande para implementação de novos plantios florestais.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

As biomassas utilizadas foram qualquer madeira independente de sua origem e características específicas, colhidas aleatoriamente no solo do Campus da Universidade Federal de Rondonópolis. Amostras destes materiais foram usinadas e a granulometria do pó produzido a partir da usinagem destes materiais medida via o Agitador Eletromagnético para Peneira apresentado na Figura 1. A granulometria maior ou igual a 0,85 mm foi aquela usada para a produção dos compactos.



Figura 1. Agitador Eletromagnético para Peneira.

Fonte: O Autor.

2.2 Metodologia

Amostras cilíndricas destes materiais com dimensões, altura = 24,80 mm e diâmetro = 23,65 mm, foram fabricadas através de torneamento e compactação. A fabricação de todos os corpos de prova foi de madeira desconhecida, mas sempre a partir do mesmo lote. Cinco diferentes pressões, ou seja, 100 MPa, 150 MPa, 200 MPa, 250 MPa e 300 MPa foram usadas para a compactação dos pós via o sistema de compactação apresentado na Figura 2. Oitenta amostras foram usinadas e a mesma quantidade foi compactada em cada pressão, perfazendo um total de quatrocentos e oitenta amostras manufaturadas. A seguir de cada 80 amostras produzidas, 40 permaneceram como fabricadas e 40 foram imersas numa solução líquida enriquecida com carbono na forma de sólidos carbonáceos até a sua saturação. Para realizar a saturação da amostra com a solução de sólidos carbonáceos, foi necessário retirar primeiramente toda a umidade inicial contida no interior dos briquetes (compactos) e das amostras usinadas. Para isso, elas foram colocadas na estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. A cada período de tempo as amostras eram pesadas, até que de acordo com a norma técnica ABNT NBR 1492/2009 [9], a diferença entre a medida atual e a anterior não fosse superior 0,5%. Esse mesmo procedimento foi utilizado na análise de secagem das amostras após elas serem saturadas com a solução líquida (65% de sólidos carbonáceos) produzida nos Laboratórios do Curso de Engenharia Mecânica da UFR.



Figura 2. Sistema de compactação usado para a produção de briquetes: a) Matriz onde os pós de madeira foram inseridos em sua cavidade cilíndrica e punções inferior e superior usados para compactá-lo sob diferentes pressões; b) Máquina de Tração/Compressão usada para produzir os briquetes cilíndricos a partir da compactação dos pós que foram inseridos na cavidade da matriz.

Fonte: O Autor.

A Figura 3 mostra a típica aparência dos compactos produzidos. Diferentemente dos briquetes claros, aqueles com coloração escura são os saturados com sólidos carbonáceos. A seguir todos os corpos de prova fabricados foram caracterizados por análise imediata, poder calorífico, densidade aparente e densidade energética. A análise imediata foi feita com base na ABNT NBR 8112/1986 [10], o poder calorífico estimado segundo a equação de Parikh et al., [11] e a densidade aparente medida de acordo com a norma ABNT NBR 6922/1981 [12] em um recipiente com volume equivalente a uma caixa com dimensões internas de (22,90 x 22,90 x 22,90) mm.



Figura 3. Típicos briquetes produzidos em diferentes pressões de compactação com ou sem a adição de sólidos carbonáceos.

Fonte: O Autor.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 1 são apresentados os resultados para os briquetes e a amostra usinada que não foram saturados com sólidos carbonáceos. Como pode ser visto a massa de pó compactado dos briquetes aumentou à medida que também aumentou a pressão. A massa de qualquer um dos briquetes sempre foi maior do que a medida para amostra usinada. Isto indica que enquanto os poros da última continuam vazios, aqueles presentes nos briquetes estão sendo gradativamente reduzidos e preenchidos com pó. Logo é de se esperar que todos os briquetes apresentem valores de densidade energética superior aquele obtido para amostra usinada.

Outro aspecto interessante a ser observado nos briquetes, é o efeito da pressão na redução do tamanho do pó e dos poros. Para se adequar ao referido efeito a granulometria do pó de partida ($\leq 0,85$ mm) tem que ser sempre menor ou igual ao tamanho do poro onde ele está sendo inserido. Isto indica que os pós de partida durante a sua compactação estão sendo reduzidos. O principal responsável pelo aumento dos valores de densidade compactada foi a pressão através de sua ação simultânea na redução do tamanho dos pós e poros onde eles foram inseridos [13,14,15].

| AMOSTRAS | DIMENSÕES [mm] | | MASSA [g] | DENSIDADE [g/cm ³] |
|--|---------------------|---------------------|-----------------------|--------------------------------|
| | DIÂMETRO | ALTURA | | |
| AUSSC | 24,79 ± 0,07 | 23,64 ± 0,06 | 6,2502± 1,4105 | 0,5478 |
| AB100SC | 25,03 ± 0,05 | 20,30 ± 0,03 | 10,0238 ± 0,0010 | 1,0037 |
| AB150SC | 25,00 ± 0,04 | 23,00 ± 0,10 | 11,3011 ± 0,0030 | 1,0009 |
| AB200SC | 24,90 ± 0,04 | 23,50 ± 0,08 | 11,4647 ± 0,0003 | 1,0019 |
| AB250SC | 24,90 ± 0,04 | 23,00 ± 0,08 | 11,7835 ± 0,0004 | 1,0521 |
| AB300SC | 24,90 ± 0,03 | 23,03 ± 0,06 | 12,0554 ± 0,0012 | 1,0750 |
| Obs: 1- Amostras nomeadas por ABXXXSC são identificadas por: a) AB - briquete; b) XXX – pressão; c) SC -sem adição de carbonáceos; 2- Amostras nomeadas por AUSSC são identificadas por: a) AUS - amostra usinada; b) SC - sem adição de carbonáceos. | | | | |

Tabela 1- Resultados dos briquetes e da amostra usinada que não foram saturados com sólidos carbonáceos.

Na Tabela 2 são apresentados os resultados para os briquetes e a amostra usinada que foram saturados com sólidos carbonáceos. Como pode ser visto no presente estudo o aumento da densidade das amostras estando ou não saturadas com carbonáceos, está associado ao preenchimento de seus poros com o pó do resíduo de madeira e/ou sólidos carbonáceos respectivamente. Os poros não preenchidos com o pó de madeira presente nos briquetes compactados em cada pressão, foram preenchidos com sólidos carbonáceos até onde o seu tamanho fosse menor do que o poro. De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, nota-se que em todas as amostras o aumento da massa de carbonáceos depositada nos poros gerou o aumento da densidade destes materiais. Diferentemente dos briquetes que não foram saturados com carbonáceos e dependiam somente da pressão para o aumento de sua densidade, aqui ela além disso, depende também da soma das densidades do pó de madeira e carbonáceos versus os seus percentuais respectivos distribuídos na microestrutura dos briquetes. Comparando entre si os valores de densidade da amostra usinada com aqueles obtidos para os briquetes, nota-se que o aumento desta propriedade nestes materiais pode chegar até duas vezes ao obtido para a usinada. O compacto produzido sob 300 MPa é um exemplo disto. Para um volume praticamente fixo houve um acréscimo de massa ao mesmo. A pressão usada para a compactação dos briquetes e a quantidade de sólidos carbonáceos distribuídos na microestrutura destes materiais foram os principais responsáveis pelo aumento de suas densidades.

| AMOSTRAS | DIMENSÕES [mm] | | MASSA [g] | DENSIDADE [g/cm ³] |
|----------|----------------|--------------|------------------|--------------------------------|
| | DIÂMETRO | ALTURA | | |
| AUSSC | 24,79 ± 0,07 | 23,64 ± 0,06 | 6,7206 ± 1,6105 | 0,5890 |
| AB100SC | 25,05 ± 0,03 | 21,65 ± 0,08 | 11,5054 ± 0,0015 | 1,1010 |
| AB150SC | 24,95 ± 0,03 | 24,60 ± 0,05 | 13,2512 ± 0,0025 | 1,1018 |
| AB200SC | 24,90 ± 0,04 | 24,70 ± 0,08 | 13,5004 ± 0,0060 | 1,1224 |
| AB250SC | 24,90 ± 0,05 | 24,65 ± 0,05 | 13,5087 ± 0,0050 | 1,1254 |
| AB300SC | 24,95 ± 0,04 | 24,70 ± 0,05 | 14,7009 ± 0,0070 | 1,2173 |

Obs: 1- Amostras nomeadas por ABXXXSC foram identificadas por: a) AB - briquete; b) XXX – pressão; c) SC -sem adição de carbonáceos; 2- Amostras nomeadas por AUSSC são identificadas por: a) AUS - amostra usinada; b) SC - sem adição de carbonáceos.

Tabela 2- Resultados dos briquetes e da amostra usinada que foram saturados com sólidos carbonáceos.

Nas Tabelas 3 e 4 é possível verificar os valores de densidade a granel dos briquetes sem e com adição de carbonáceos. Observa-se que os valores desta propriedade em todas as amostras saturadas com carbonáceos foram superiores ao apresentado para aquelas não saturadas com este material. Além disso, todos os briquetes apresentaram densidade a granel superior a medida na amostra usinada. A aplicação de pressão reduziu o tamanho inicial de partícula dos pós e conseqüentemente aumentou a densidade a granel dos briquetes. Para um mesmo volume quanto menor o tamanho do pó, maior a sua quantidade disponível para depósito no referido volume. Ao considerar este fato sob o efeito da presença de sólidos carbonáceos dissolvido nos briquetes, nota-se que este material contribuiu para que a densidade a granel ficasse maior do que aquela medida somente sob o efeito da pressão. O tamanho do pó compactado foi reduzido. Todos os briquetes foram saturados e dentre os compactados, os manufaturados em pressões menores são aqueles onde se teve a maior quantidade de poros ainda não preenchidos com pó, mas, com carbonáceos. Isto foi mais expressivo nos briquetes compactados sob 100 MPa e 150 MPa.

| Amostra | Densidade a Granel [kg/m ³] |
|---------|---|
| AUSSC | 189,0861 |
| AB100SC | 316,6258 |
| AB150SC | 347,1562 |
| AB200SC | 374,1636 |
| AB250SC | 344,8075 |
| AB300SC | 289,4323 |

Obs: 1- Amostras nomeadas por ABXXXSC são identificadas por: a) AB - briquete; b) XXX – pressão; c) SC - sem adição de carbonáceos; 2- Amostras nomeadas por AUSSC são identificadas por: a) AUS - amostra usinada; b) SC - sem adição de carbonáceos.

Tabela 3. Valores de densidade a granel para a amostra usinada e os briquetes compactados a partir do pó seco que não foram saturados com sólidos carbonáceos.

| Amostra | Densidade a Granel [kg/m ³] |
|--|---|
| AUSCC | 209,1523 |
| AB100CC | 442,1912 |
| AB150CC | 446,2682 |
| AB200CC | 464,4949 |
| AB250CC | 416,8608 |
| AB300CC | 414,5699 |
| Obs: 1- Amostras nomeadas por ABXXXCC são identificadas por: a) AB - briquete; b) XXX – pressão; c) CC - com adição de carbonáceos; 2-Amostras nomeadas por AUSCC são identificadas por: a) AUS - amostra usinada; b) CC - com adição de carbonáceos. | |

Tabela 4. Valores de densidade a granel para a amostra usinada e os briquetes compactados a partir do pó seco que foram saturados com sólidos carbonáceos.

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentados os valores das propriedades energéticas obtidas para as amostras tanto usinadas como compactadas, sem e com adição de sólidos carbonáceos. Comparando os resultados de massa da amostra usinada com aqueles apresentados para os briquetes, nota-se que o aumento de massa influenciou significativamente no aumento da densidade energética destes materiais. Independente se o percentual de massa dos particulados de pó de madeira e/ou carbonáceos adicionados à microestrutura dos briquetes fosse ou não diferente, a soma total deles foi a principal responsável pelo aumento da densidade energética nestes materiais. No presente estudo os maiores valores desta propriedade obtidos foram de 8083,87 MJ/m³ e 8195,51 MJ/m³ para os briquetes compactados em 100 MPa e 150 MPa respectivamente. Esta faixa de pressão está dentro daquela usada em briquetadeiras industriais e isto do ponto de vista comercial, torna-se bastante interessante.

| Amostra | Poder Calorífico [Kcal/Kg] | | Densidade Energética [MJ/m ³] | |
|---|----------------------------|-----------|---|-----------|
| | PCI | PCS | PCI | PCS |
| AUSCC | 3936,0932 | 3939,3278 | 3113,9853 | 3116,5444 |
| AB100SC | 4083,0546 | 4086,2892 | 5409,0768 | 5413,3618 |
| AB150SC | 4011,9620 | 4015,1966 | 5827,3806 | 5832,0789 |
| AB200SC | 4206,8976 | 4210,1322 | 6585,8999 | 6590,9636 |
| AB250SC | 4196,9050 | 4200,1396 | 6054,7684 | 6059,4349 |
| AB300SC | 3768,8058 | 3772,0404 | 4563,9660 | 4567,8831 |
| Obs: 1- Amostras nomeadas por ABXXXSC são identificadas por: a) AB - briquete; b) XXX – pressão; c) SC - sem adição de carbonáceos; 2- Amostras nomeadas por AUSCC são identificadas por: a) AUS - amostra usinada; b) SC - sem adição de carbonáceos. | | | | |

Tabela 5. Valores do poder calorífico e densidade energética para a amostra usinada e os briquetes compactados a partir do pó seco que não foram saturados com sólidos carbonáceos.

| Amostra | Poder Calorífico [Kcal/Kg] | | Densidade Energética [MJ/m ³] | |
|---|----------------------------|-----------|---|-----------|
| | PCI | PCS | PCI | PCS |
| AUSCC | 3958,4883 | 3961,7229 | 3464,0465 | 3466,8771 |
| AB100CC | 4366,1255 | 4369,3601 | 8077,8907 | 8083,8751 |
| AB150CC | 4385,9969 | 4389,2315 | 8189,4722 | 8195,5118 |
| AB200CC | 4033,7036 | 4036,9382 | 7839,2871 | 7845,5734 |
| AB250CC | 4143,1820 | 4146,4166 | 7226,3122 | 7231,9538 |
| AB300CC | 3856,7370 | 3859,9716 | 6689,7432 | 6695,3538 |
| Obs: 1- Amostras nomeadas por ABXXXCC são identificadas por: a) AB - briquete; b) XXX – pressão; c) CC - com adição de carbonáceos; 2- Amostras nomeadas por AUSCC são identificadas por: a) AUS - amostra usinada; b) CC - com adição de carbonáceos. | | | | |

Tabela 6. Valores do poder calorífico e densidade energética para a amostra usinada e os briquetes compactados a partir do pó seco que foram saturados com sólidos carbonáceos.

4 I CONCLUSÕES

A quantidade e o tamanho dos poros distribuídos na microestrutura dos briquetes depende da pressão e provavelmente são maiores e menores, respectivamente, do que aqueles apresentados nas amostras usinadas. A presença de sólidos carbonáceos na estrutura de todas as amostras aumentou a densidade energética destes materiais. No caso das usinadas de 3116,5444 MJ/m³ para 3466,877 e dos briquetes de 5413,3618 MJ/m³ para 8083,8751 MJ/m³. Isto representa um aumento percentual de 11.5% e 49.5% respectivamente. Enquanto na amostra usinada o aumento das propriedades energéticas se deve somente a adição de sólidos carbonáceos a sua estrutura, nos briquetes as propriedades supracitadas dependeram principalmente do somatório de massa dos particulados, ou seja, da soma dos sólidos carbonáceos com os pós de madeira. No presente trabalho, a saturação dos resíduos de madeiras de diferentes espécies desconhecidas, misturadas ou não entre si, via carbono na forma de sólidos carbonáceos, foi efetiva. Além disso, do ponto de vista energético, a possibilidade de se enriquecer a microestrutura de qualquer tipo de madeira com carbono, abre um caminho onde não somente ela, mas qualquer outro tipo de biomassa sólida também possa ser enriquecida. A perspectiva que se tem a partir deste fato é uma: a) significativa agregação de valor aos resíduos sólidos de biomassa; b) grande redução do descarte destes materiais como lixo nas regiões onde são gerados e conseqüentemente uma contribuição para sustentabilidade destas regiões; c) contribuição importante para a redução do desmatamento em várias regiões do país tais como a Centro-Oeste em especial, o estado de Mato Grosso onde a dificuldade é grande para implementação de novos plantios florestais.

REFERÊNCIAS

[1] In: <http://www.oeco.com.br/reportagens/37-reportagens/18930-oecod228749>.

[2] FOEKEL, C.; In: www.eucalyptus.com.br

[3] QUIRINO, W.F.; BRITO, J.O. Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal. Brasília: LPF/IBAMA, 1991. 18p. (Série Técnica, 13).

[4] PROTASIO, T.P.; ALVES, I.C.N; TRUGILHO, P.F.; SILVA, V.O.; BALIZA, A.E.R. Compactação de biomassa vegetal visando à produção de biocombustíveis sólidos. Pesquisa Florestal Brasileira v.31, n.68, p. 273-283, 2011.

[5] ROUSSET, P.; A TORREFAÇÃO DA MADEIRA. In: www.bepinet.net/pdfs/Atividades/Cursos%20Brasil/Torrefacao.pdf.

[6] FELFLI, F. F.; LUENGO, C. A.; SOLER, P. B.; Torrefação de Biomassa: Características, Aplicações e Perspectivas. In: Encontro de Energia do Meio Rural, 3, Campinas, 2000.

[7] FELFLI, F. F.; LUENGO, C. A.; SUAREZ, J. A.; SOLER, P. B.; Wood Briquette Torrefaction. Energy Sustainable Development, v. IX, p. 19-22, 2005.

[8] RENDEIRO, G., Nogueira, M. M., Brasil, A. M., Cruz, D. A., Guerra, D. S., Macêdo, E. N., & Ichihara, J. A. Combustão e Gaseificação de Biomassa Sólida (1 ed., Vol. Único). (E. F. Barreto, Ed.) Brasília: Ideorama, 2008.

[9] Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR. 14929:2009.

[10] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 8112/1986: Carvão vegetal- Análise imediata- Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1986.

[11] Parikh, J.; Channiwala, S. A.; Ghosal, G. K. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. Fuel, v. 84, n. 5, p. 487-494, 2005.

[12] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6922/1981: Carvão vegetal- ensaios físicos- determinação da massa específica (densidade à granel). Rio de Janeiro, 1981.

[13] STEPHEN, J. M.; KWASI, F. M.; and DARKWA, N. A. Effect of species, particle size and compacting pressure on relaxed density and compressive strength of fuel briquettes. International Journal of Energy and Environmental Engineering, 1-6, 2013.

[14] KRIŽAN, P.; SVÁTEK, M.; MILOŠ, M.; JURAJ, B.; LISÝ, M. Determination of Compacting Pressure and Pressing Temperature Impact on Biomass Briquettes Density and Their Mutual Interactions. 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 2014.

[15] STYKS, J.; WRÓBEL, M.; FRACZEK J.; and KNAPCZYK, A. Effect of Compaction Pressure and Moisture Content on Quality Parameters of Perennial Biomass Pellets. Energies, 13, 1859, 2020. <http://www.journal-ijeee.com/content//>

BANCADA DE GERAÇÃO DE ENERGIA UTILIZANDO O PRINCÍPIO INVERSO DA ROSCA DE ARQUIMEDES

Data de aceite: 01/06/2022

Carolina Bruski Gonçalves

<http://lattes.cnpq.br/2245995794231479>

Paulo Marcos Flores

<http://lattes.cnpq.br/6652519716191722>

Rodrigo José Maslonek

<http://lattes.cnpq.br/1376404904043519>

Eliara Marin Piazza

<http://lattes.cnpq.br/6413677446320447>

RESUMO: A energia elétrica foi o impulsionador do desenvolvimento da industrialização e é fundamental para a atual expansão de setores. Essa energia pode ser oriunda de diferentes fontes, variando a sua capacidade de renovação ou não, pode-se citar como fontes de energia não renováveis aquelas originárias do petróleo, carvão natural e gás natural. Enquanto, dentre as fontes de energia renováveis, tem-se a hídrica, eólica, solar, entre outras. Este assunto é de relevância que seja abordado na formação inicial dos engenheiros, na busca de alternativas. Nesse sentido, este artigo apresenta um estudo de caso desenvolvido no ano de 2021, onde foi estudado sobre a execução de uma geração de energia, considerando características reais do Rio Santa Bárbara, localizado na cidade de Santo Ângelo, no estado do Rio Grande do Sul. O objetivo de encontrar uma geração viável para tais condições e, desenvolve um protótipo de baixo custo que sirva como bancada de estudos foi atingido.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Renovável. Geração de Energia. Engenharia Mecânica. Engenharia Elétrica. Ensino Superior.

ABSTRACT: Electric energy was the driving force behind the development of industrialization and is fundamental for the current expansion of sectors. This energy can come from different sources, varying its renewal capacity or not, one can cite as non-renewable energy sources those originating from oil, natural coal and natural gas. While, among the renewable energy sources, there are hydro, wind, solar, among others. This matter is relevant to be addressed in the initial training of engineers, in the search for alternatives. In this sense, this article presents a case study developed in the year 2021, where it was studied about the execution of a power generation, considering real characteristics of the Santa Bárbara River, located in the city of Santo Ângelo, in the state of Rio Grande do Sul. The objective of finding a viable generation for such conditions and developing a low-cost prototype that serves as a study bench was achieved.

KEYWORDS: Renewable energy. Power generation. Mechanical Engineering. Electrical engineering. University education.

INTRODUÇÃO

Em prol da sustentabilidade ambiental há uma preocupação em alavancar a utilização de energias renováveis, o que torna a geração de energia um objeto de estudo importante e que tem conquistado espaço nos cursos

de engenharia. Estes estudos podem ser desde o cunho científico, buscando novas possibilidades e melhorias, assim como da apresentação lúdica do docente às turmas para fins de aprendizagem. Ambos casos requerem materiais e equipamentos de estudo, de forma a atingir a compreensão e a abstração dos estudantes.

É de conhecimento que equipamentos para estudos podem apresentar um valor de investimento significativo, o que por vezes significa a não aquisição por parte da instituição de ensino. Contudo, dispor de ferramentas e equipamentos educacionais para proporcionar a melhor formação profissional dos acadêmicos é parte fundamental de uma instituição de ensino superior.

O problema que motivou esta pesquisa consiste em apresentar uma ideia viável para a reativação de uma unidade geradora em escala compatível com a estrutura da antiga central geradora de energia, a qual encontra-se nas dependências da Faculdade Santo Ângelo, com o recurso hídrico do rio Santa Bárbara. Com isso, o objetivo é apresentar um protótipo de uma CGH que possa ser utilizado para fins educacionais nas aulas dos cursos de engenharia da Faculdade Santo Ângelo (FASA), bem como servir de base para estudos futuros para implantação em escala real.

Para o dimensionamento da CGH, optou-se por trabalhar com o recurso hídrico, por ser renovável e possibilitar o desenvolvimento de um protótipo de fácil compreensão. Para tal, é utilizado o princípio da rosca de Arquimedes, aplicável na transferência de líquidos de um local mais baixo a um mais alto.

O documento apresenta na sequência uma discussão sobre os trabalhos científicos utilizados como embasamento desta pesquisa. Apresentação da metodologia utilizada. Relatos do desdobramento e evidências da pesquisa. Análise dos resultados obtidos, e por fim, as considerações finais.

REFERENCIAL TEÓRICO

Com o crescimento exponencial industrial e residencial no Brasil na última década, tem aumentado a sensibilização em prol das causas ambientais, assim como a busca por alternativas com baixo impacto ambiental. O desafio é encontrar o equilíbrio entre o baixo impacto ambiental e o desenvolvimento econômico, sem que isso atravesse o avanço dos diversos setores. Um importante e essencial pilar para o crescimento industrial e econômico é a energia elétrica, cuja geração causa polêmica quando discutido o viés da questão ambiental.

O sistema de energia elétrica tem um processo característico geral, iniciando pela geração, seguindo da transmissão, distribuição e consumo. Considerando a evolução do pensamento em prol da preservação ambiental, o aspecto da geração dessa energia. A maior forma de geração de energia hoje é a centralizada (GC), ou seja, grandes centrais responsáveis pela produção de uma alta demanda de energia. No Brasil, são mais

presentes usinas hidrelétricas ou termoeletricas, por serem robustas, demandam uma extensa e custosa linha de transmissão, o que agregado a outros fatores, encarece o valor para o consumidor final.

Nesse sentido, está em expansão a implementação da geração distribuída (GD), regulamentada e autorizada desde 2012 pela Resolução Normativa nº 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2012). A GD é caracterizada por sistemas que ficam próximos à unidade consumidora, ou ainda, no mesmo local. Após essa resolução da ANEEL houve um exponencial crescimento de instalações de GD, assim como de pesquisas na área, com foco em determinadas fontes de energia.

Associar essa geração a uma fonte renovável de energia é uma potencial saída para a redução dos impactos ambientais da geração de energia. Fontes de energia renováveis são aquelas consideradas inesgotáveis e limpas, ou seja, emitem menos gases de efeito estufa quando comparadas às fontes fósseis (OLIVEIRA, *et. al*, 2021). Assim como expande a instalação de GD, tem havido um acréscimo nas pesquisas sobre essas fontes de geração, tais como as fontes de energia de solar, eólica ou hidráulica (CASTRO, *et. al*, 2020; IMAI, *et. al*, 2020; SAMPAIO & BATISTA, 2021; KRELL & SOUZA, 2020).

A energia solar fotovoltaica, utilizando a incidência solar, é a principal fonte de GD hoje, o que se justifica pelos incentivos governamentais à aquisição do sistema (NARUTO, 2017). A energia eólica é gerada pela força do vento, o que pode resultar em uma geração sazonal, assim como não é viável a todos os lugares (OLIVEIRA, *et.al*, 2021). A energia hidráulica, também conhecida como energia hídrica, se dá por meio da força potencial da água.

Por meio destas e outras fontes de energia, pode-se implementar uma geração distribuída de energia, a qual possui categorias, podendo ser micro, mini ou pequena, e são regulamentadas pelos devidos órgãos. A microgeração de energia é definida por um central geradora de energia elétrica, que utiliza energia renovável, como por exemplo, energia fotovoltaica, com potência menor ou igual a 75 kw, seguindo a regulamentação 482 da ANEEL, criada em 2012 que permitiu a criação de sistemas de Geração Distribuída local, ou seja, em residências, condomínios, comércios ou indústrias. Como havia várias intervenções no sistema que atrapalhavam o crescimento dessa forma de gerar energia, em 2015 foi implementada a normativa RN 687 que aprimorou o sistema. Com novas regras definidas, ficou determinado que toda instalação geradora de energia até 75kw é denominada microgeração, caso ultrapassasse seria classificado como minigeração (ANEEL, 482/2012).

A minigeração possibilita que produza sua própria energia através de forma renováveis, painéis solares, turbinas eólicas, geradores de biomassa entre outros. A partir disso o sistema de energia não deve ultrapassar os limites impostos pela norma 482 da ANEEL, de que para fontes hídricas a potência de geração deve ser maior de 75 kw e menor ou igual 3.000 kw e para fontes renováveis 75 kw à 5.000 kw.

A pequena central hidrelétrica (PCH) é considerada uma miniusina onde sua capacidade é superior a 1 MW e inferior a 30 MW conforme a normativa N° 875 de 2020, onde também foi atualizada a capacidade máxima de reservatório passando de 3km² para 13 km². As PCHs são instaladas em rios de pequeno e médio porte hídrico, onde encontram-se relevantes desníveis no percurso, assim gerando potência hidráulica suficiente para o funcionamento da miniusina. Como as PCHs têm o funcionamento sobre o flúmen, não há possibilidade de controle do reservatório, assim, em épocas de estiagem há uma queda nos níveis de geração de energia elétrica e em épocas onde o volume transborda o esperado, as instalações podem ficar submersas. Tendo em vista isto, o custo da produção de energia elétrica através de uma pequena central hidrelétrica é, proporcionalmente, maior do que uma usina hidrelétrica de grande porte (ANEEL, 875/2020).

Além destes conceitos, uma categoria bastante recente ainda não regulamentada, devido à baixa quantidade de energia gerada, vem como proposta para melhorias a muitos lugares de difícil acesso. Segundo Lyons e Lubitz (2013), os geradores de parafuso de Arquimedes (GPA) estão começando a ser amplamente adotado em locais hídricos de baixa queda na Europa, devido à alta eficiência (superior a 80% em algumas instalações), competitivos custos e baixo impacto ambiental. Comparado a outras tecnologias, este sistema de geração de energia apresenta maior potencial em locais de baixa queda (menos de cerca de 5 m).

O parafuso de Arquimedes é considerado uma das primeiras máquinas hidráulicas, dotado de uma matriz helicoidal de lâminas simples que são enroladas em torno de um cilindro central, como um parafuso para madeira (SIMMONS, 2017). Este parafuso é apoiado em uma calha fixa circundante. Há um pequeno espaço entre a calha e o parafuso que permite que o parafuso gire livremente enquanto permite que apenas uma pequena quantidade de água escoe pelas bordas da lâmina. Acredita-se que o parafuso de Arquimedes foi inventado por Arquimedes de Siracusa (por volta de 287-212 aC), o físico, matemático e inventor grego (KOETSIER, 2004). No entanto, há evidências que sugerem a invenção e o uso da tecnologia de repescagem podem remontar a mais de três séculos antes de Arquimedes sob o reinado do rei Senaqueribe (704-681 aC) no século 7 aC no Império Assírio (DALLEY, 2003).

No projeto estuda-se adaptação desse parafuso para geração de energia elétrica através da energia gerado pelo volume da água que passa pela rosca criando uma diferença de pressão hidrostática através da gravidade, assim gerando o movimento na lâmina helicoidal (MULLER e SENIOR, 2009). O protótipo terá como base o efeito de vazamento entre as lacunas, o parafuso e a calha, sendo que a eficiência de um parafuso é teoricamente independente da velocidade de rotação.

METODOLOGIA DA PESQUISA

A metodologia utilizada tem caráter exploratório, visando a familiarização com o problema através de uma revisão em pressupostos teóricos e pesquisa de campo. Para a realização da pesquisa bibliográfica considerou-se como referência principalmente documentos que expressam a legislação vigente a nível federal e estadual. Além de literaturas clássicas específicas e publicações em periódicos que sejam correlatas.

A segunda etapa foi o desenvolvimento do projeto, inicialmente em 2D, seguindo para a representação 3D do projeto. Etapa que serve como subsídio para a verificação da possibilidade de implementação, assim como montagem do mecanismo atuante e posteriormente a simulação.

Na etapa seguinte executou-se a construção do protótipo. Nessa etapa, utilizou-se diretamente das anteriores, pois deve-se seguir dimensões e ângulos já especificados, dessa forma o mecanismo terá a precisão mínima necessária. Acerca do valor investido para a execução do protótipo estão relacionados no Quadro 1.

| LISTA DE MATERIAIS | | |
|---|------------|----------------|
| NOME | QUANTIDADE | VALOR UNITÁRIO |
| Cap Soldável PVC 60 mm | 02 | R\$ 14,00 |
| Cap Soldável PVC 20 mm | 02 | R\$ 1,80 |
| Luva Soldável PVC 20 mm | 03 | R\$ 1,20 |
| Luva Soldável PVC 60 mm | 01 | R\$ 15,00 |
| Válvula soldável PVC 25 mm | 01 | R\$ 26,39 |
| Adaptador com Flange para Caixa D'Água Soldável PVC 25 mm | 02 | R\$ 18,80 |
| Bucha de Redução PVC Soldável de 600x25 mm | 01 | R\$ 9,50 |
| Perfil Tubo De Aço Metalon 20x20x6000mm | 01 | R\$ 39,93 |
| Pote Plástico Retangular 5,5 litros | 02 | R\$ 11,95 |
| Voltímetro Digital com Amperímetro | 01 | R\$ 39,81 |
| Barra Rosqueada Zinco 1 Metro UNC 1/4 | 01 | R\$ 7,33 |
| Porca Sextavada ¼" | 14 | R\$ 0,30 |
| Tubo PVC 25 mm | 1 metro | R\$ 0,00 |
| Mangueira Plástica Corrugada 20 mm | 1 metro | R\$ 0,00 |
| Motor Impressora HP 12 v | 01 | R\$ 0,00 |
| Adesivo Instantâneo 100g | 01 | R\$ 16, 93 |
| | TOTAL | R\$ 174,06 |

Quadro 1: Valores dos materiais utilizados.

Fonte: Autores, 2021.

E, por fim, realizou-se a análise dos resultados, onde foram comparados com os

estipulados, e em caso de divergência, o projeto necessitará de ajustes.

DESDOBRAMENTOS E EVIDÊNCIAS DA PESQUISA

O problema de pesquisa e a ideia para a construção do protótipo iniciou-se a partir de uma visita a MCH existente na FASA. No local, observou-se que consta intacta apenas parte da edificação do muro de contenção. Após a visita, verificou-se que o modelo de MCH utilizando rosca helicoidal é uma alternativa viável para implantação futura. Assim, traçou-se um desenho em 3D, no *software SketchUp*, com um modelo aproximado ao que pode ser instalado futuramente, conforme Figura 1, visando o aproveitamento do muro existente.



Figura 1: Modelo de MCH FASA.

Fonte: Autores, 2021.



Figura 2: Modelo Protótipo MCH.

Fonte: Autores, 2021.

Com base no modelo, optou-se em desenvolver um protótipo, com dimensões reduzidas e com materiais de baixo custo, que apresente as mesmas características da MCH. Assim, desenvolveu-se o desenho da ideia inicial, também no *software SketchUp*, conforme Figura 2, para posterior construção do protótipo.

Para fabricação da rosca helicoidal, inicialmente, optou-se pela utilização de um tubo de policloreto de vinila, mais conhecido como pvc, de 100 mm de diâmetro. Porém, durante a aquisição dos componentes, percebeu-se que a bomba selecionada para o projeto tem a capacidade de bombeamento de apenas 8 litros de água por minuto, algo que é insuficiente para realimentação e funcionamento constante do sistema com essas dimensões. Como solução, optou-se pela redução do diâmetro do tubo de escoamento para 60 mm.

Outras condições definidas nesta fase, foram o passo da rosca helicoidal, o material de fabricação e o número de entradas da rosca. Inicialmente, optou-se em utilizar um passo de 120 mm entre filetes, em uma rosca com duas entradas. Como o objetivo consistia na utilização de materiais leves e de fácil fabricação, optou-se por chapas de alumínio de 0,7 mm de espessura para fabricação as aletas, fixadas em tubo de pvc de 20 mm por meio

de rebites, também de alumínio. Após, foi realizada a vedação de possíveis orifícios que possibilitasse a passagem indesejada de água utilizando um adesivo composto por silicone.

Para o desenvolvimento das hélices, tomou-se como base o que cita Sacramento (2003), em seu trabalho referente aos cálculos para dimensionamento de rosca helicoidal. Assim, o cálculo foi desenvolvido com base em um passo de 120 mm, diâmetro interno de 20 mm e diâmetro externo 53,5 mm, obtendo-se assim que cada aleta deveria ter um diâmetro externo de 97,40 mm e diâmetro interno de 63,9 mm, conforme Figura 6.

Em testes preliminares de funcionamento, verificou-se que a rosca desenvolvida não apresentava o desempenho requerido. Então, optou-se por modificar o passo da rosca para 50 mm e alterar o material de fabricação das hélices, utilizando-se uma borracha de silicone, com espessura de 3 mm, conforme Figura 3.



Figura 3: Rosca Helicoidal.

Fonte: Autores, 2021.

Ao testar o novo modelo desenvolvido, verificou-se que também não apresentava o resultado desejado em relação à rotação da rosca helicoidal. Assim, optou-se por utilizar um rolamento de menor diâmetro, sendo que o utilizado era com diâmetro externo com 32 mm e diâmetro interno com 20 mm. O novo rolamento, cujo diâmetro externo é de 19 mm e diâmetro interno de 6 mm, necessitou a utilização de um eixo central com menor diâmetro, mas possibilitou que o mecanismo funcionasse satisfatoriamente.

A partir da definição do mecanismo de rotação, desenvolveu-se o projeto e fabricação das peças restantes para o funcionamento do sistema. A Figura 4 apresenta a ilustração do

projeto completo em 3D.

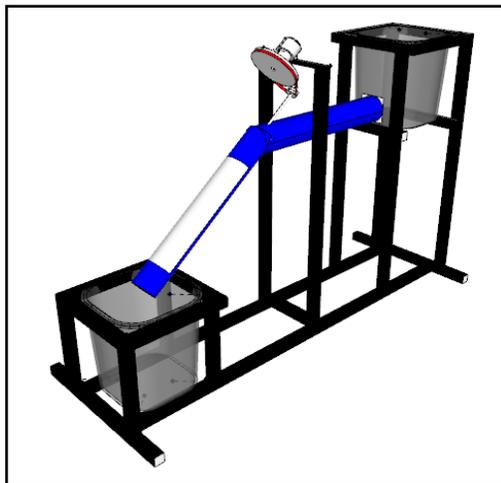


Figura 4: Projeto 3D do protótipo.

Fonte: Autores, 2021.

As dimensões a serem utilizadas para construção do protótipo estão expressas na Figura 5, e as especificações em detalhes no Quadro 2.

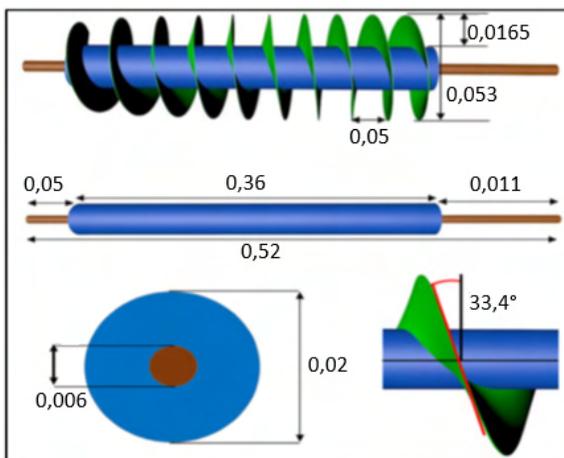


Figura 5: Dimensões utilizadas.

Fonte: Autores, 2021.

| Parâmetros | Valor |
|-----------------------------------|----------|
| Diâmetro da turbina | 0,053 m |
| Raio da turbina | 0,0265 m |
| Espessura da lâmina do parafuso | 0.003 m |
| Passo da lâmina do parafuso | 0,05 m |
| Altura da lâmina do parafuso | 0,0165 m |
| Quantidade de lâminas do parafuso | 02 |
| Quantidade de voltas do parafuso | 07 |
| Ângulo da lâmina do parafuso | 43,4° |
| Diâmetro do eixo principal | 0,006 m |
| Diâmetro do eixo externo | 0,02 m |
| Comprimento do eixo principal | 0,52 m |
| Comprimento do eixo externo | 0,036 m |

Quadro 2: Especificações de Turbina.

Fonte: Autores, 2021.

Assim, após o detalhamento do projeto, realizou-se a fabricação do protótipo, conforme Figura 6, para posteriores testes e análise de resultados.



Figura 6: Protótipo.

Fonte: Autores, 2021.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

No primeiro instante, buscou-se entender o funcionamento do sistema de bombeamento através do princípio inverso utilizado por Arquimedes. Assim, segundo Spaans Babcock (2021), o desempenho real de uma bomba helicoidal depende de vários parâmetros, todos relacionados entre si. A seleção da combinação certa desses

parâmetros é, portanto, uma tarefa essencial, mas especializada, pois será decisiva para o desempenho e a vida útil da bomba.

Através da análise referencial foi possível entender o conceito de centrais hidrelétricas, perceber que trabalhos anteriores desenvolveram seus protótipos para posterior obtenção de alguns parâmetros fundamentais para o funcionamento, e ainda ter base teórica para a fabricação dos componentes. O planejamento para o desenvolvimento do modelo teve em consideração os parâmetros apresentados no Quadro 3.

| SISTEMA DE PLANEJAMENTO DA MCH | |
|--------------------------------|------------|
| Valor do parâmetro | |
| Volume do reservatório | 5,5 litros |
| Altura da cabeça | 0,219m |
| Comprimento da turbina | 0,34 m |
| Diâmetro da turbina | 0,053m |
| Tubo de diâmetro | 0,055m |
| Comprimento do tubo | 0,036m |

Quadro 3: Especificações da Turbina.

Fonte: Autores, 2021.

A análise de dados nesta pesquisa foi através de dados quantitativos. Cada dado quantitativo desta pesquisa foi obtido através de teste, onde realizou-se cinco vezes as medições de cada parâmetro para obter um resultado preciso com a variação do ângulo de inclinação da cabeça da turbina helicoidal. De cinco testes, os resultados obtidos correspondem a uma média dos testes.

A definição do grau de inclinação da calha de escoamento, foi determinada com o conhecimento da faixa vertical (y) e da faixa horizontal (x) e determinada com uma equação calculada a partir de .

Da obtenção dos ângulos, obtiveram-se os valores do Quadro 4, com o ângulo α que representa uma variação com alturas de mudança correspondentes com a queda de água na hélice a partir da posição do ângulo da cabeça da turbina de 0° a 90° .

| Graus | Medida eixo y (m) | Medida eixo x (m) |
|-------|-------------------|-------------------|
| 0 | 0,000 | 0,340 |
| 10 | 0,059 | 0,335 |
| 15 | 0,088 | 0,328 |
| 20 | 0,116 | 0,319 |
| 25 | 0,144 | 0,308 |
| 30 | 0,170 | 0,294 |
| 35 | 0,195 | 0,279 |
| 40 | 0,219 | 0,260 |
| 45 | 0,240 | 0,240 |
| 50 | 0,260 | 0,219 |
| 55 | 0,279 | 0,195 |
| 60 | 0,294 | 0,170 |
| 70 | 0,319 | 0,116 |
| 80 | 0,335 | 0,059 |
| 90 | 0,340 | 0,000 |

Quadro 4: Ângulos obtidos.

Fonte: Autores, 2021.

O cálculo da energia hidráulica gerada é obtido a partir do fluxo de água de algumas alturas. A partir disso, a energia hidráulica pode ser calculada através da energia hídrica resultante do fluxo de água pela turbina, pela seguinte equação:

$$P = \rho.Q.h.g$$

Onde, P é a potência hidráulica (Watt), ρ é a densidade do fluido (kg/m), Q é a vazão (m/s), g é a gravidade (m/s) e H é a altura da queda d'água (m).

Inicialmente, determinou-se o volume de água estável para que o resultado da medição não seja alterado. A capacidade de água utilizada é de 5,5 litros e o tempo necessário para o enchimento é de 15,4 segundos.

$$Q = \frac{5,5}{15,4} = 0,357l/s$$

Para obtermos a potência hidráulica ou a potência que resultou da água de algumas alturas calculadas a partir do ângulo 10°, porque de um ângulo 0° não tem alturas, foi realizado o cálculo a partir da equação:

$$P = \rho.Q.h.g = 1000 * 0.000357 * 0.059 * 9.81 = 0,202 \text{ Watt}$$

No Quadro 5, estão apresentados os ângulos com respectivas alturas e a potência resultante.

| Ângulo | Altura | Força Hidráulica (Potência) |
|--------|--------|-----------------------------|
| 0 | 0,000 | 0 |
| 10 | 0,059 | 0,202715146 |
| 15 | 0,088 | 0,302142765 |
| 20 | 0,116 | 0,399270895 |
| 25 | 0,144 | 0,493360333 |
| 30 | 0,170 | 0,583695 |
| 35 | 0,195 | 0,669587396 |
| 40 | 0,219 | 0,750383828 |
| 45 | 0,240 | 0,825469385 |
| 50 | 0,260 | 0,894272622 |
| 55 | 0,279 | 0,956269905 |
| 60 | 0,294 | 1,010989396 |
| 70 | 0,319 | 1,096987769 |
| 80 | 0,335 | 1,149654723 |
| 90 | 0,340 | 1,16739 |

Quadro 5: Ângulos com altura e potência resultante.

Fonte: Autores, 2021.

Em análise do Quadro 4, verifica-se que conforme aumenta o ângulo de inclinação, aumenta também a potência teórica do sistema. Porém, para definição do ângulo de inclinação utilizado na construção do protótipo, levou-se em consideração a análise nos resultados do Quadro 6.

| Ângulo | Rotação Livre (RPM) | Rotação Acoplada (RPM) |
|--------|---------------------|------------------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 10 | 104 | 8 |
| 15 | 120 | 24 |
| 20 | 148 | 50 |
| 25 | 160 | 52 |
| 30 | 165 | 54 |
| 35 | 167 | 56 |
| 40 | 172 | 64 |
| 45 | 168 | 56 |
| 50 | 155 | 54 |
| 55 | 153 | 53 |
| 60 | 146 | 50 |
| 70 | 143 | 43 |

| | | |
|----|-----|---|
| 80 | 102 | 0 |
| 90 | 95 | 0 |

Quadro 6: Ângulos com Rotação Livre e Acoplada.

Fonte: Autores, 2021.

No Quadro 6, evidencia-se que se o ângulo de inclinação da turbina for menor do que 40°, então em algumas situações a velocidade de rotação da turbina diminui, e vice-versa, o ângulo de inclinação da turbina maior do que 40°, o fluxo d'água diminui, reduzindo assim o empuxo para girar a turbina. Assim, conforme verificado, a maior eficiência pode ser obtida com um ângulo de 40°.

Sabendo que o torque é uma magnitude que declara quanta força está trabalhando no objeto, causando sua rotação, pode-se calcular o torque do sistema através da equação abaixo:

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{N}{60}} = \frac{0,75}{2\pi \frac{64}{60}} = 0,11Nm$$

Onde T é o torque (Nm), P é a potência (kW) e N é a velocidade (rpm). Com os dados definidos, o protótipo obteve o funcionamento desejado, proporcionando a geração de uma tensão de 0,5 volts, conforme Figura 7, por meio da rotação de um motor de corrente contínua reciclado de uma impressora da marca HP. Destaca-se que o valor da tensão gerada é irrelevante, pois o resultado esperado para pesquisa consiste no perfeito funcionamento do protótipo.



Figura 7: Display com a tensão.

Fonte: Autores, 2021.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por tratar-se de um sistema mecânico com certo grau de dificuldade, o trabalho exigiu da equipe a busca por conhecimento e estudos em diversas áreas das engenharias. Aproximado com aquilo que os futuros egressos de engenharia irão defrontar-se em vivências no mercado de trabalho, sendo de grande valia para a formação da identidade profissional da engenharia.

Em relação aos resultados obtidos, salienta-se que inicialmente não foi atingido o objetivo desejado devido a escolhas de alguns materiais e dimensões dos componentes. Todavia, esses resultados são esperados em qualquer tipo de protótipo o qual deseje-se construir, e esses contratempos servem para fortalecer ainda mais o conhecimento e induzir a busca pelo objetivo desejado.

Após a busca por encontrar o que estava causando o não funcionamento, alterou-se o diâmetro e formato da rosca, atingindo então o funcionamento esperado do protótipo. Dessa forma, acredita-se que os objetivos propostos foram atingidos, uma vez que serviu como aprendizagem dos acadêmicos e, o protótipo em bom funcionamento poderá ser utilizado com fins didáticos em outros momentos.

REFERÊNCIAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 482, 2012. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso em 03 de abril de 2021.

CASTRO, Marcelo Stehling de; BELCHIOR, Fernando Nunes; OLIVEIRA, Gustavo Dias de; SANTOS, Josephy Dias; PIRES, Sanderley Ramos. Análise do Impacto da Geração Fotovoltaica na Universidade Federal de Goiás. In: *Brazilian Applied Science Review*. v. 4, n. 5, p. 3023-3042, Set./Out., 2020.

DALLEY, S.; OLESON, J.P. Sennacherib, Archimedes, and the Water Screw: The Context of Invention in the Ancient The Context of Invention in the Ancient World. *Technol. Cult.* 2003, 44, 1–26.

IMAI, Hugo Eiji; BÓRIO, Lucas Farinha; JUNIOR, Adriano Aparecido da Silva; BERTO, Lilian Keylla; YAMAGUCHI, Natália Ueda; REZENDE, Luciana Cristina Soto Herek. Simulação computacional como ferramenta de otimização na geração de energia solar fotovoltaica. In: *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, Curitiba, vol.12, p. 1-19, Jul. 2020.

KOETSIR, T.; BLAUWENDRAAT, H. The Archimedean Screw-Pump: A Note on Its Invention and the Development of the Theory. In *International Symposium on History of Machines and Mechanisms*; Springer: Dordrecht, The Netherlands, 2004; pp. 181–194.

KRELL, Andreas Joachim; SOUZA, Carolina Barros De Castro e. A Sustentabilidade Da Matriz Energética Brasileira: O Marco Regulatório Das Energias Renováveis E O Princípio Do Desenvolvimento Sustentável. In: *Revista de Direito Econômico e Socioambiental*. Curitiba, vol. 11 n. 2, p.157-188, Maio/Agosto, 2020.

LYONS, M., e LUBITZ, W. D. (2013). *Archimedes Screws for Microhydro Power Generation*. ASME 2013 7th International Conference on Energy Sustainability. doi:10.1115/es2013-18067

MULLER, G., e SENIOR, J. (2009). Simplified theory of Archimedean screws. *Journal of Hydraulic Research*, 47(5), 666–669. doi:10.3826/jhr.2009.

NARUTO, Denise Tieko. Trabalho de Conclusão de Curso. Vantagens E Desvantagens Da Geração Distribuída E Estudo De Caso De Um Sistema Solar Fotovoltaico Conectado À Rede Elétrica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Janeiro, 2017.

OLIVEIRA, Alzira Marques de; MARIO, Maurício Conceição; PACHECO, Marcos Tadeu Tavares. Fontes renováveis de energia elétrica: evolução da oferta de energia fotovoltaica no Brasil até 2050. In: *Brazilian Applied Science Review*. Curitiba, v. 5, n. 1, p. 257-277, Jan., 2021.

SAMPAIO, Keila Regina Alves; BATISTA, Valmir. O atual cenário da produção de energia eólica no Brasil: Uma revisão de literatura. In: *Research, Society and Development*, v. 10, n.1, 2021.

SIMMONS, S.; LUBITZ, W. Archimedes screw generators for sustainable energy development. In *Proceedings of the 2017 IEEE Canada International Humanitarian Technology Conference (IHTC)*, Toronto, ON, Canadá, 21–22 July 2017; pp. 144–148.

A MINERAÇÃO E O USO DOS MINERAIS EM ELEMENTOS DO COTIDIANO: MEDICAMENTOS

Data de aceite: 01/06/2022

Rafaela Baldi Fernandes

Alan Henrique Carneiro Brito

RESUMO: Os minerais desempenham um papel fundamental no setor farmacêutico, contribuindo para a manipulação das substâncias e auxiliando na busca constante de novos recursos para desenvolvimento de medicamentos e suplementos. Os medicamentos representam uma boa parcela dos gastos com saúde e são caracterizados como substâncias inócuas (que não é nocivo e prejudicial), razões pelas quais, cada vez mais, se reconhece a necessidade e a importância dos estudos que analisam os tratamentos medicamentosos.

PALAVRAS-CHAVE: Mineração, medicamentos, minerais.

ABSTRACT: Minerals play a fundamental role in the pharmaceutical sector, contributing to the manipulation of substances and helping in the constant search for new resources for the development of medicines and supplements. Medicines represent a good portion of health expenditures and are characterized as innocuous substances (not harmful), which is why the need and importance of studies that analyze drug treatments are increasingly recognized.

KEYWORDS: Mining, medicines, minerals.

Os minerais desempenham um papel fundamental no setor farmacêutico, contribuindo para a manipulação das substâncias e auxiliando na busca constante de novos recursos para desenvolvimento de medicamentos e suplementos. Os medicamentos representam uma boa parcela dos gastos com saúde e são caracterizados como substâncias inócuas (que não é nocivo e prejudicial), razões pelas quais, cada vez mais, se reconhece a necessidade e a importância dos estudos que analisam os tratamentos medicamentosos.

No século XX, com o aumento da eficiência da prevenção de doenças e acesso ao atendimento médico, a expectativa de vida, menor que quarenta anos até a década de 1940, ultrapassou os sessenta e cinco anos na década de 1990 (WHO, 1997). Mas, com a elevação dos custos com equipamentos, materiais e medicamentos, além de políticas de gestão de saúde pública ineficientes, o acesso universal aos recursos e tecnologias modernas disponíveis ainda é limitado.

No começo do século XIX os medicamentos eram, basicamente, de origem natural, com estrutura química e natureza pouco conhecidas. A introdução dos fármacos em meados de 1940 permitiu que fosse observada cura para enfermidades, até então, fatais, principalmente no campo de doenças infecciosas. Entre os anos de 1950 e 1960 ocorreu a denominada “explosão farmacológica”,

possibilitada por uma compreensão mais apurada dos mecanismos moleculares e celulares relacionados à saúde e doença, advindas das conquistas tecnológicas da Segunda Guerra Mundial. A crença da sociedade em relação ao poder dos medicamentos foi ampliada, juntamente com uma promoção comercial dos mesmos e os avanços em pesquisas de novas fórmulas, basicamente, sintetizadas em laboratórios. Atualmente, as prescrições são quase obrigatórias nas consultas médicas, fazendo com que os medicamentos sejam considerados mais do que simples recursos terapêuticos, o que pode culminar em um uso, em alguns casos, excessivo e irracional. Segundo Osler, “*o desejo de tomar o medicamento talvez represente o maior aspecto de distinção entre o homem e os animais*” (Castro, 2000). Nesse sentido, o entendimento das formulações e da efetividade no uso das mesmas, contribui para um uso mais reacional e efetivo destas substâncias.

Os minerais que compõem a estrutura das células, tecidos e órgãos, trabalham na manutenção dos fluidos corporais e participam dos sistemas enzimáticos e hormonais, sendo obtidos, basicamente, por alimentação ou suplementação. Os minerais são provenientes das rochas, solo e água, sendo absorvidos à medida em que as plantas se desenvolvem, ou pelos animais herbívoros, quando se alimentam destas plantas e as digerem. Desta forma, no consumo humano de plantas, vegetais e animais, obtemos os nutrientes minerais necessários, sendo também possível incrementar essa absorção ao ingerir suplementos específicos.

A carência de minerais no corpo humano pode desenvolver inúmeras doenças, sendo necessário que, na maioria das vezes, se recorra aos medicamentos. Por exemplo, o ferro é utilizado em medicamentos contra anemia, o cálcio previne osteoporose, o magnésio auxilia na redução do risco de hipertensão e doenças cardíacas, dentre outros.

PRINCIPAIS MINERAIS UTILIZADOS NOS MEDICAMENTOS

O principal “*ingrediente*” para formulação de um medicamento é o que se denomina fármaco. Os fármacos podem ser classificados de acordo com sua origem, sendo natural, quando de origem animal, vegetal, mineral e microbiano, ou artificial, quando o é manipulado e sintetizado pelo homem em laboratórios. Segundo Korolkovas (1989) a base do tratamento de doenças nos tempos antigos consistia principalmente de medicamentos de origem vegetal e animal, tendo sido, mais tarde, incorporados produtos de origem mineral.

Para o uso em medicamentos, os minerais são divididos em macrominerais e microminerais, sendo que o organismo precisa de quantidade relativamente elevada de macrominerais, tais como cálcio, cloro, enxofre, fósforo, magnésio, potássio e sódio. No caso dos microminerais, as quantidades são reduzidas, o que incluem minerais do tipo cobre, cromo, ferro, flúor, iodo, manganês, molibdênio, selênio e zinco. O consumo insuficiente ou excessivo de algum mineral pode causar uma doença nutricional, sendo que especialistas

podem recomendar medicamentos ou suplementos minerais. A seguir, serão apresentados alguns dos mais importantes minerais para o uso em medicamentos.

Ferro (Fe): quarto elemento químico mais abundante na crosta terrestre porém, dificilmente encontrado de forma isolada na natureza. Os principais minerais que apresentam ferro em sua constituição são a magnetita, hematita, goethita, limonita, ilmenita, siderita, pirita e pirrotita (Figura 1). O ferro é um nutriente essencial no organismo, atuando, principalmente, na produção de células vermelhas do sangue e no transporte de oxigênio para todas as células do corpo humano. Sua deficiência causa a anemia ferropênica, quando a quantidade de glóbulos vermelhos saudáveis é insuficiente, tanto em homens, mulheres e crianças, sendo que em gestantes pode desencadear atraso no desenvolvimento do feto. O tratamento consiste no uso de suplementação de ferro via oral, de acordo com a orientação de especialistas. Para Zanin (2021) os suplementos de ferro mais comuns para combater a anemia são o sulfato ferroso, o Noripurum, Hemo-Ferr e Neutrofer, que além de ferro, podem conter ácido fólico e vitamina B12, que também auxiliam no combate à anemia.



Figura 1 – Minerais portadores de ferro: magnetita, hematita e goethita da esquerda para direita. Na segunda linha: ilmenita, pirita e pirrotita.

Fonte: Instituto de Geociência – USP (2022)

Cálcio (Ca): mineral mais abundante no corpo humano, sendo encontrado, quase em sua totalidade, nos ossos e nos dentes. É o quinto elemento químico mais abundante na crosta terrestre, mesmo não sendo encontrado de forma pura na natureza, mas como constituinte de rochas ou minerais de grande interesse industrial, como mármore, calcita, calcário e dolomita (Figura 2). No organismo, o cálcio é essencial para formação dos ossos e dentes, além de contribuir para o acionamento de várias enzimas, contração muscular, coagulação sanguínea e ritmo cardíaco. A carência de cálcio no organismo, também chamada de hipocalcemia, provoca doenças graves, principalmente relacionadas aos

ossos, como a osteoporose, hipocalcemia, raquitismo ou osteomalácia. O tratamento e prevenção da hipocalcemia inclui suplementos de cálcio e vitamina D, de acordo com a prescrição específica de cada indivíduo.



Figura 2 – Mineral calcita a esquerda e dolomita a direita.

Fonte: Instituto de Geociência – USP (2022)

Zinco (Zn): segundo mineral em maior quantidade no corpo humano, sendo o vigésimo quarto elemento mais abundante na crosta terrestre. Os minerais dos quais o zinco pode ser extraído são a calamina, esfalerita, hemimorfita, franklinita, hidrozincoita, smithsonita, willemita, wurtzita e zincita (Figura 3). Segundo Johnson (2020) o zinco é amplamente distribuído no organismo através dos ossos, dentes, cabelo, pele, fígado, músculos, glóbulos brancos e testículos, sendo essencial para o funcionamento de centenas de enzimas, incluindo algumas implicadas na formação de ácido ribonucleico (RNA) e ácido desoxirribonucleico (DNA). De acordo com Moura (2019) a carência desse mineral vai muito além de questões associadas a imunidade e sua baixa percentagem no corpo humano pode culminar em diarreia crônica, queda de cabelo, unhas fracas, paladar alterado, distúrbios de crescimento, infertilidade, dificuldade na cicatrização de feridas e distúrbios neurológicos.



Figura 3 – Alguns dos minerais que o zinco é extraído: smithsonita, esfalerita e hemimorfita da esquerda para direita.

Fonte: Museu de Minerais, Minérios e Rochas Heinz Ebert (2022)

Magnésio (Mg): oitavo elemento mais abundante na crosta terrestre, sendo o quarto mais abundante no nosso organismo. Não é encontrado livre na natureza em seu estado nativo mas, no entanto, está na composição de mais de 80 minerais, tais como dolomita, magnesita, brucita, carnalita, serpentina, cainita e olivina (Figura 4). É obtido, normalmente, pela eletrólise do cloreto de magnésio. O magnésio opera em funções básicas do corpo humano, promovendo o desenvolvimento dos ossos, tecidos e músculos e, sendo também encarregado na regulação da absorção de outros nutrientes que, em conjunto, garantem um bom desempenho do organismo. O nível de magnésio no sangue pode ser excessivamente alto, o que causa hipermagnesemia ou, ainda, excessivamente baixo, o que causa hipomagnesemia. Conforme Lewis III (2020a), a hipomagnesemia pode causar náusea, vômitos, sonolência, fraqueza, alterações na personalidade, espasmos musculares, tremores e perda de apetite. Além disso, a falta de magnésio está relacionada a doenças crônicas como Alzheimer, diabetes melito e outras. Se grave, a hipomagnesemia pode provocar convulsões, especialmente em crianças.



Figura 4 – Minerais portadores de magnésio: dolomita e magnetita da esquerda para direita na primeira linha. Na segunda linha: serpentina e olivina.

Fonte: Instituto de Geociência – USP (2022)

Potássio (K): terceiro mineral mais abundante do corpo humano, sendo o sétimo elemento mais abundante da crosta terrestre, o potássio é encontrado em diversos minerais. No entanto, somente uma pequena quantidade é de interesse da indústria farmacêutica, devido a fácil extração (solubilização) e viabilidade econômica. O potássio pode ser

encontrado na silvita, carnalita, cainita, langbeinita, polialita, schoenita e singenita, mas, os mais importantes comercialmente são a silvita e a carnalita (Figura 5). Segundo Bezerra (2021) o potássio é um mineral muito importante e essencial para o bom funcionamento do corpo humano, pois influencia diretamente o sistema nervoso, muscular e cardíaco, além de equilibrar o pH no sangue. De acordo com Lewis III (2020b), baixos níveis de potássio no sangue (hipocalêmia) podem provocar vômitos, diarreia, distúrbios da glândula adrenal ou decorrentes ao uso de diuréticos. Ainda, fraqueza muscular, câibras, contrações ou até paralisia, podendo ocorrer ritmos cardíacos anormais.



Figura 5 – Rocha silvita (esquerda) e mineral carnalita (direita).

Fonte: El medi natural del Bages (2022)

Embora tenha sido detalhado somente alguns tipos de minerais, é importante destacar que há outros minerais importantes para o organismo e, mesmo que a deficiência de alguns seja bastante rara, não os torna menos importantes. Por exemplo, a carência do sódio é rara, haja visto que é um mineral facilmente encontrado nos alimentos, mas pode ocasionar câimbras, desidratação, tonturas e hipotensão arterial. Para o fósforo, o que não ocorre em situações normais, uma vez que é encontrado na maioria dos alimentos, pode desencadear hemoglobinúria e anemia, podendo até ser mortal quando ocorrem trombos hepáticos obstrutivos, além de provocar diminuição do apetite, desvirtuamento alimentar, osteofagia, problemas de articulação e queda de fertilidade. A carência de selênio pode contribuir para doenças cardíacas, disfunção da tireoide e depressão do sistema imune. Já o manganês, atua no controle da síntese e secreção de insulina, hormônio produzido pelo pâncreas, sendo responsável por metabolizar o açúcar, além de participar ativamente da produção da tiroxina, hormônio que é secretado pela tireoide e interfere no apetite, regulação do humor e quase todas as reações celulares do corpo.

REFERÊNCIAS

BEZERRA, Clarice (2021). Potássio alto ou baixo: causas e tratamento. Disponível em: <<https://www.tuasaude.com/potassio/>>. Acesso em: 25 de abril de 2022.

CASTRO, C.G.S.O (2000). Estudos de utilização de medicamentos: noções básicas. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2000. 90 p.

El Medi Natural Del Bages. The rocks and the minerals. Disponível em: <<https://elmedinaturaldelbages.cat/en/category/geology/the-rocks-and-the-minerals/>>. Acesso em: 26 de abril de 2022.

JOHNSON, Larry E (2020). Deficiência de zinco - Distúrbios nutricionais - Manual MSD Versão Saúde para a Família. Disponível em: <<https://www.msmanuals.com/pt/casa/dist%C3%BArbios-nutricionais/minerais/defici%C3%A2ncia-de-zinco/>>. Acesso em: 25 de abril de 2022.

KOROLKOVAS, Andrejus (1989). Revista Brasileira de Farmacognosia 1989, Volume 2-3-4 Páginas 97 – 101. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbfar/a/5skcWgXkfkMm33hqvmMvH8r/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 20 de abril de 2022.

LEWIS III, James L (2020a). Hipomagnesemia (níveis baixos de magnésio no sangue) - Distúrbios hormonais e metabólicos - Manual MSD Versão Saúde para a Família. Disponível em: <<https://www.msmanuals.com/pt/casa/dist%C3%BArbios-hormonais-e-metab%C3%B3licos/equil%C3%ADbrio-eletrol%C3%ADtico/hipomagnesemia-n%C3%ADveis-baixos-de-magn%C3%A9sio-no-sangue/>>. Acesso em: 25 de abril de 2022.

LEWIS III, James L (2020b). Hipocalcemia (níveis baixos de potássio no sangue) - Distúrbios hormonais e metabólicos - Manual MSD Versão Saúde para a Família. Disponível em: <<https://www.msmanuals.com/pt/casa/dist%C3%BArbios-hormonais-e-metab%C3%B3licos/equil%C3%ADbrio-eletrol%C3%ADtico/hipocalcemia-n%C3%ADveis-baixos-de-pot%C3%A1ssio-no-sangue/>> Acesso em: 25 de abril de 2022

MOURA, Ana Paula (2019). CUIDADOS PELA VIDA. Deficiência de zinco: quais são os riscos para a saúde das pessoas? Disponível em: <<https://cuidadospelavida.com.br/saude-e-tratamento/baixa-imunidade/deficiencia-zinco-riscos/>>. Acesso em: 22 de abril de 2022.

Museu de Minerais, Minérios e Rochas Heinz Ebert: Banco de dados. São Paulo: UNESP. Disponível em <<https://museuhe.com.br/banco-de-dados/>>. Acesso em: 23 de abril de 2022.

USP (2022). Instituto de Geociência da Universidade de São Paulo (IGc-USP). Lista de Minerais. Disponível em: <<https://didatico.igc.usp.br/minerais/lista-de-minerais/>>. Acesso em: 23 de abril de 2022.

WHO (1997). WORLD HEALTH ORGANIZATION. The state of world health: life expectancy, health expectancy, 1997. Disponível em: www.who.int/whr. Acesso em: 12 janeiro 2022.

ZANIN, Tatiana (2021). Como melhorar a absorção de ferro para combater a anemia. Disponível em: <<https://www.tuasaude.com/absorcao-do-ferro/>>. Acesso em: 23 de abril de 2022.

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA CAL COMO ADIÇÃO EM ARGAMASSAS CONVENCIONAIS

Data de aceite: 01/06/2022

Amanda Fernandes Pereira da Silva

Alefen Silva de Sousa

Halisson Diogo de Moura Leal

João Bráz Araújo Neto

Marcos Alécio Campos da Silva

Danilo Teixeira Mascarenhas de Andrade

RESUMO: O uso da argamassa na construção civil é de extrema importância e está ligada a obras com várias finalidades. Há quem procura meios para aperfeiçoar a sua utilização, um deles como proposto nessa pesquisa é a substituição parcial do aglomerante cimento pela cal com a finalidade de obter melhoria nas propriedades proposto pela argamassa. No presente trabalho foi usado o traço (1:3:0,6) de cimento, areia e água para argamassa convencional e o traço (1:1:6:1,2) de cimento, cal, areia e água para adição da cal. Analisado por meio de ensaio, a capacidade de resistir a esforços de compressão para corpos de prova sem a presença da cal obteve valores mais elevado, por outro lado, a resistência à aderência a tração se tratando da cal ela possui boa aderência em relação a convencional, melhorando também a trabalhabilidade em relação a convencional quando em contato com a água partículas finas presente nela reduz o atrito entre os grãos de areia e maior rendimento da mão de obra. Além da cal reter água juntamente

com o cimento Portland, possui baixo módulo de elasticidade o que acaba por não sofrer tão rapidamente a pequenas movimentações que futuramente poderia ocorrer formação de trincas. Com os ensaios apresentados conclui-se que o objetivo procurado pelo presente trabalho foi atendido.

PALAVRAS-CHAVE: Argamassa fresca. Argamassa Endurecida. Cal Hidráulica. Trabalhabilidade.

ABSTRACT: The use of mortar in civil construction is extremely important and is linked to works with various purposes. There are those looking for ways to improve its use, one of them, as proposed in this research, is the partial replacement of cement binder by lime in order to improve the properties proposed by the mortar. In the present work, the mixture (1:3:0.6) of cement, sand and water was used for conventional mortar and the mixture (1:1:6:1.2) of cement, lime, sand and water was used to add the lime. Analyzed through testing, the ability to resist compressive efforts for specimens without the presence of lime obtained higher values, on the other hand, the tensile adhesion strength in the case of lime it has good adhesion compared to conventional, also improving workability compared to conventional when in contact with water fine particles present in it reduces the friction between the grains of sand and greater performance of the workforce. In addition to lime retaining water along with Portland cement, it has a low modulus of elasticity which does not suffer so quickly from small movements that in the future could cause cracks to form. With the tests presented, it is concluded

that the objective sought by the present work was met.

KEYWORDS: Fresh mortar, Hardened mortar, Hydraulic lime, Workability.

1 | INTRODUÇÃO

A construção civil vem desenvolvendo novas técnicas construtivas com isso aumenta a necessidade de construir, o que pode levar a uma melhoria no decorrer de cada construção e o seu aperfeiçoamento. Há algumas evoluções nesse processo construtivo, a argamassa por sua vez pode ser usada tanto com o traço convencional como pela adição da aglomerante cal para melhoria de algumas propriedades.

A cal hidratada é um pó de cor branca resultante da combinação química dos óxidos anidros da cal virgem com a água. Para a obtenção da cal hidratada Bauer (2015) diz que é feito um processo na qual a cal viva é moída e misturada com uma quantidade exata de água e, por fim, a cal hidratada é separada da não hidratada e das impurezas por peneiramento ou por ar.

Assim como exposto na Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP (2009) na argamassa apenas com a cal, destacam-se as propriedades de trabalhabilidade e a capacidade de absorver deformações. Entretanto, são reduzidas as suas propriedades de resistência mecânica e aderência.

Encontra-se também no ABCP (2009) que em argamassas mistas, de cal e cimento, devido à finura da cal há retenção de água em volta de suas partículas e conseqüentemente maior retenção de água na argamassa. Assim, a cal pode contribuir para uma melhor hidratação do cimento, além de contribuir significativamente para a trabalhabilidade e capacidade de absorver deformações.

A NBR 7175(2003) expõe determinados requisitos com finalidade de avaliar as características físicas e químicas do material. Ela pode ser usada para comparar por meios de ensaios as características da cal hidratada, a fim de tornar possível um diagnóstico mais preciso em relação à sua qualidade.

Trata-se uma pesquisa experimental que relata a influência da cal hidráulica NHL5 como adição na argamassa convencional com traço volumétrico de traço (3:1:0,6). Com o intuito de obter argamassa com melhoria em suas propriedades para o uso na construção civil, utilizou-se o uso de ensaios tanto no estado fresco como endurecido da argamassa.

2 | A CAL HIDRÁULICA

2.1 Fabricação

De modo geral, a cal hidráulica pode ser classificada como um produto intermediário entre a cal virgem e o cimento Portland. Resulta da calcinação de calcários argilosos,

procedimento que produz a combinação do óxido de cálcio com a sílica-quartzo e os minerais argilosos, formando relativa alta porcentagem de compostos com propriedades hidráulicas (GUIMARÃES, 2002).

A cal hidráulica é fabricada por processos semelhantes aos da fabricação da cal aérea. Obtém-se por calcinação de calcários margosos (8 a 20% de argilas), a temperaturas entre 1000°C a 1500°C, preferencialmente em fornos contínuos verticais de alvenaria e revestimento refratário. Deste processo, obtém-se óxido de cálcio, silicatos e aluminatos de cálcio, capazes de se hidratarem conferindo hidráulicidade à cal (COELHO et al., 2009).

Assim que foi descoberto o modo de fabricação e obtenção da cal, as obras antigas tinham o seu próprio tanque de queima, onde as pedras de cal virgem eram moídas, misturadas com água, atualmente é encontrada comercializada, fornecida em sacos de 20 Kg e pronta para o consumo.

2.2 Temperatura: fator de sustentabilidade

A cal é um aglomerante no qual possui porosidade e permeabilidade elevadas, o que proporciona a liberação da humidade em forma de calor, com isso acaba por proteger as alvenarias e prevenindo a formação de condensações.

Temperaturas mais baixas de produção, em comparação com outros ligantes, tais como o cimento Portland, exigem menos combustível e permitem que uma produção em pequena escala ocorra perto de fontes de calcário, reduzindo assim os custos de transporte e a poluição (EDWARDS et al., 2007).

Comparativamente às argamassas de cimento, estas apresentam consumos energéticos bastante mais elevados, uma vez que a sinterização do clínquer ocorre a temperaturas perto do dobro das de produção de cal hidráulica natural, assim como a moagem do clínquer do cimento consome muito mais energia que a da cal hidráulica. Existe também um maior consumo de recursos naturais (água, margas calcárias, transportes) inerentes à produção do cimento (FARIA et al., 2012a).

Segundo Faria et al (2012b) a cal hidráulica natural constitui assim um ligante hidráulico mais sustentável comparativamente ao cimento e apresenta, à partida, uma maior compatibilidade com as características dos suportes antigos onde venha a ser aplicada.

2.3 Normas para uso da cal hidratada em argamassas

A NBR 7175 (2003) relata os requisitos exigíveis no recebimento da cal hidratada no que diz respeito a características químicas e físicas para argamassas na construção civil. As tabelas 1 e 2 a seguir expõem de forma detalhada os requisitos.

| Compostos | | Limites | | |
|---|-------------|---------|-------|--------|
| | | CH-I | CH-II | CH-III |
| Anidrito Carbônico (CO ₂) | Ná fábrica | ≤ 5% | ≤ 5% | ≤ 13% |
| | No depósito | ≤ 7% | ≤ 7% | ≤ 15% |
| Óxidos de cálcio e magnésio não hidratado calculado (CaO+MgO) | | ≤ 10% | ≤ 15% | ≤ 15% |
| Óxidos totais na base de não-voláteis (CaOt+MgOt) | | ≥ 90% | ≥ 88% | ≥ 88% |

Tabela 1- Exigência química
Fonte: NBR 7175:2003, 2018

| Compostos | | Limites | | |
|----------------------------|-----------------|--|--------|--------|
| | | CH-I | CH-II | CH-III |
| Finura (%retida acumulada) | Peneira 0,600mm | ≤ 0,5% | ≤ 0,5% | ≤ 0,5% |
| | Peneira 0,075mm | ≤ 10% | ≤ 15% | ≤ 15% |
| Retenção de água | | ≤ 75% | ≤ 75% | ≤ 70% |
| Incorporação de areia | | ≥ 3,0% | ≥ 2,5% | ≥ 2,2% |
| Estabilidade | | Ausência de cavidade ou produberâncias | | |
| Plasticidade | | ≥ 110 | ≥ 110 | ≥ 110 |

Tabela 2 - Exigência química
Fonte: NBR 7175:2003, 2018

3 I METODOLOGIA

O presente estudo consiste em uma pesquisa realizada em laboratório ocorrida em 2 fases diferentes: 1ª Fase –Caracterização das argamassas no estado fresco, com o ensaio relacionado a consistência; 2ª Fase – Caracterização das argamassas no estado endurecido, através do arrancamento medindo a aderência e resistência a compressão com os corpos de prova. Para (GIL, 2008) a pesquisa experimental acontece quando se determina um objeto de estudo, seleciona-se as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, define-se as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

3.1 Materiais utilizados

3.1.1 Argamassa convencional

Foi usado argamassa mista que possui em sua composição cimento, areia e água (1:3:0,6). O aglomerante foi o cimento Portland CP II RS-32 Poty e o agregado miúdo através do ensaio de granulometria pode-se observar que a areia se classifica como fina.

3.1.2 Argamassa com presença de cal

A análise das argamassas para posteriormente fazer a análise dos resultados foi adotada (1:1:6:1,2) Cimento Portland, cal, areia e água. Nesse traço foi usado a mesma areia.

4 | ENSAIOS REALIZADOS

4.1 Ensaio de Granulometria

Levando em consideração a NBR 7217 (1987), pode-se conhecer a distribuição granulométrica do agregado e representá-la através de uma curva. Possibilitando assim a determinação de suas características físicas.

| Nº da Peneira | Ø Peneira (mm) | Massa retida | % Retida | %Acumulada | % Passante |
|---------------|----------------|--------------|----------|------------|------------|
| 3,8 | 9,5 | 9 | 0,45 | 0,45 | 99,55 |
| 4 | 4,8 | 15 | 0,75 | 1,2 | 98,8 |
| 8 | 2,6 | 38 | 1,9 | 3,1 | 96,9 |
| 16 | 1,2 | 21 | 1,05 | 4,15 | 95,85 |
| 30 | 0,6 | 106 | 5,3 | 9,45 | 90,55 |
| 50 | 0,3 | 1312 | 65,6 | 75,05 | 24,95 |
| 100 | 0,15 | 474 | 23,7 | 98,75 | 1,25 |
| Fundo | 0,01 | 21 | 1,05 | 99,8 | 0,2 |
| | | 2000 | 100 | | |

Tabela 3 – Agregado Miúdo

Fonte: Próprio autor, 2018

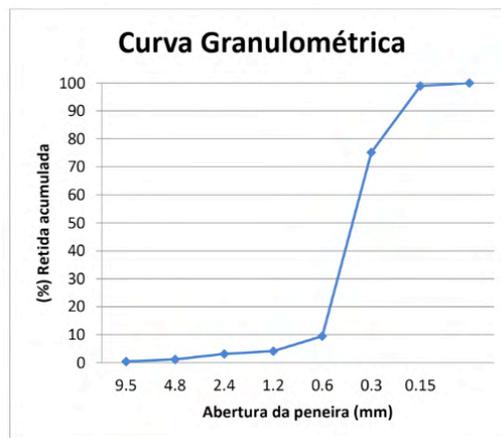


Gráfico 1 – Curva Granulométrica

Fonte: Próprio autor, 2018



Figura 1– Agregado miúdo peneirado

Fonte: Próprio autor, 2018

A tabela abaixo permite classificar a areia de acordo com o módulo de finura. Como a areia adota obteve valor de 1,9 para o seu módulo de finura, ela é classificada como fina.

| | | |
|----------|--------------------|--------|
| Inferior | $1,55 < MF < 2,20$ | Fina |
| Ótimo | $2,20 < MF < 2,90$ | Media |
| Superior | $2,90 < MF < 3,5$ | Grossa |

Tabela 4 – Classificação da areia

Fonte: NBR 7271, 2018

4.2 Estado Fresco

4.2.1 Ensaio de consistência

Para ser possível a realização desse ensaio a argamassa deve estar no estado fresco, relacionando o fator água/cimento como proposto pela norma NBR 13276 (ABNT, 2005).

Segundo a NBR 13276 (ABNT, 2005) inicialmente deve-se limpar a mesa de queda com pano úmido, logo após colocar a argamassa em um cilindro cônico sobre o centro da mesa de queda, dividindo em três camadas, onde são aplicados 15, 10 e 5 golpes com o soquete, afim de tornar a argamassa bem compactada. Em seguida retira o cilindro lentamente e aplica 1 golpe a cada 30s. Com o auxílio de um paquímetro é aferida três medidas do diâmetro da argamassa espalhada pela mesa de queda, onde a média dos valores observados pelo paquímetro é o resultado do índice de consistência.

| Amostras | Medida 1 (mm) | Medida 2 (mm) | Medida 3 (mm) | Média (mm) |
|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| Adição de cal | 179,16 | 172,45 | 172,64 | 174,75 |
| Convencional | 229,59 | 232,19 | 233,25 | 231,67 |

Tabela 5 - Resultados obtidos

Fonte: Próprio autor, 2018



Figura 2 – Medida 1 (amostra com cal)

Fonte: Próprio autor, 2018

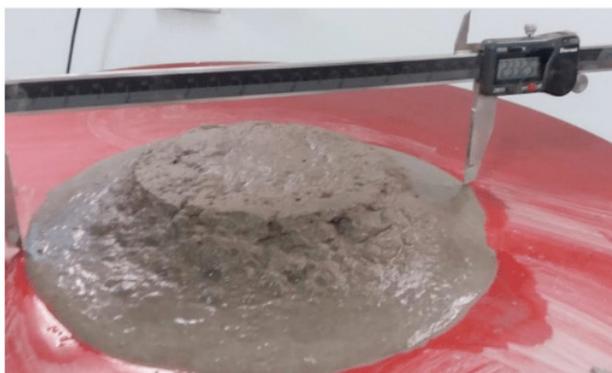


Figura 3 – Medida 2 (Convencional)

Fonte: Próprio autor, 2018

4.3 Estado Endurecido

4.3.1 Ensaio de resistência à Compressão

Com o auxílio da NBR 7215:1996 foi possível iniciar o ensaio no dia 24/04, primeiramente foi colocado os materiais na argamassadeira de forma correta e misturada até alcançar 90s. Depois do amassamento da argamassa, a moldagem do corpo de prova foi imediatamente iniciada, com uma espátula foi colocado 4 camadas sendo cada uma delas aplicado 30 golpes com soquete. Esperado 24 horas foi colocado o corpo de prova

no tanque e aguardado 14 dias de cura para o seu rompimento. Abaixo está a tabela com os resultados obtidos para a resistência à compressão dos corpos de provas.



Figura 4 – Carga de ruptura 2 em tf (amostra com cal)

Fonte: Próprio autor, 2018



Figura 5 – Carga de ruptura 3 em tf (Traço convencional)

Fonte: Próprio autor, 2018

| | Convencional (Mpa) | Adição da Cal (Mpa) |
|-------------------|--------------------|---------------------|
| Dias | 14 | 14 |
| Amostra 1 | 1,25 | 0,44 |
| Amostra 2 | 1,67 | 0,49 |
| Amostra 3 | 1,4 | 0,41 |
| Resistência média | 1,44 | 0,45 |

Tabela 6 - Exposição dos resultados

Fonte: Próprio autor, 2018

Fórmula para obtenção dos resultados apresentados:

$$R = \frac{F}{A}$$

R=Resistência;

F=Força de ruptura

A=Área da seção

Segundo a NBR 7215:1996, o método compreende a determinação da resistência à compressão de corpos-de-prova cilíndricos de 50 mm e 100 mm de altura.

4.3.2 Ensaio de resistência de aderência à Tração

Com a análise sobre a norma NBR 13528(ABNT, 1995) pode se saber a resistência de arrancamento para poder analisar o comparativo entre as argamassas em estudo. O substrato foi construído e chapiscado no laboratório, onde antes de aplicar o reboco ele deve estar isento de pó e impurezas. Passados 14 dias de cura, com auxílio do serra copo fazer os furos sobre o revestimento, logo após limpar a base e com a cola a base de resina epóxi colar as pastilhas nos corpos de prova de seção circular e apoiar com papel Kraft para evitar o espalhamento da cola e apoiar a pastilha. O ensaio inicia acoplado o equipamento de tração à pastilha aplicando a força de tração até o rompimento do corpo de prova. Para determinação dos ensaios deve apresentar o traço, sendo: cimento, areia e água (1:3:0,6) para argamassa convencional e Cimento Portland, cal, areia e água (1:1:6:1,2) para argamassa com adição parcial da cal. O substrato foi de alvenaria e o modo de preparação da argamassa foi mecânico. A aparelhagem foi o equipamento de tração mecânico, pastilha, serra copo, disco de corte.



Figura 6 – Amostra após o arranchamento (Traço com cal)

Fonte: Próprio autor, 2018



Figura 7 – Amostra após o arranchamento (Traço convencional)

Fonte: Próprio autor, 2018

| Corpo de prova | Carga (N) | Seção (mm ²) | Tensão (Mpa) | Força de Ruptura | | | | | Média |
|-----------------|-----------|--------------------------|--------------|------------------|-----|-----|-----|-----|----------|
| | | | | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) | |
| Adição de cal 1 | 0,29 | 1656,8 | 0,17 | x | | | | | |
| Adição de cal 2 | | | | | | | | x | |
| Adição de cal 3 | | | | | | | | x | |
| Adição de cal 4 | 0,32 | 1712,9 | 0,39 | x | | | | | 0,256667 |
| Adição de cal 5 | 0,18 | 1723,1 | 0,1 | | x | | | | |
| Adição de cal 6 | 0,35 | 1654,7 | 0,21 | x | | | | | |
| Convencional 1 | 0,48 | 1661,9 | 0,28 | | x | | | | |
| Convencional 2 | | | | | | | | x | |
| Convencional 3 | 0,57 | 1625,9 | 0,35 | x | | | | | |
| Convencional 4 | 0,31 | 1743,0 | 0,18 | x | | | | | 0,203333 |
| Convencional 5 | 0,14 | 1699,7 | 0,08 | | x | | | | |
| Convencional 6 | 0,46 | 1824,7 | 0,25 | | x | | | | |

Tabela 7 - Exposição dos resultados

Fonte: Próprio autor, 2018

Foi adotado para argamassa com mistura da cal os valores de acordo com a força de ruptura entre o revestimento e substrato, e ruptura na argamassa de revestimento para a mistura convencional, pois de acordo com a NBR 13528, deve considerar a força que tiver no mínimo três rupturas com a mesma seção, com isso a respeito do comparativo ressalta-se que a média da tensão proposta pela argamassa com cal é maior. Afirma-se que as misturas foram feitas de acordo com o procedimento proposto pela norma. Pode-se observar que os maiores resultados de resistência de aderência à tração são obtidos quando o rompimento ocorre na interface do revestimento, ou seja, a resistência da argamassa e da zona de transição superam a resistência do bloco cerâmico. Os menores valores de resistência ocorrem quando acontece falha de coesão da argamassa, sinalizando que sua resistência é inferior à resistência do bloco cerâmico e até mesmo inferior à resistência de aderência obtida na interface.

5 | CONCLUSÃO

Para a realização dessa pesquisa conclui-se que o índice de consistência variou conforme foi adicionado cal na mistura. Como a quantidade foi adicionada a cal aos componentes da argamassa, ela influenciou diretamente na consistência devido à relação entre água/aglomerante, tornando uma argamassa menos fluida e mais trabalhável.

Pode-se observar ainda que os maiores resultados de resistência de aderência à tração são obtidos quando o rompimento ocorre na interface do revestimento, ou seja, a resistência da argamassa e da zona de transição superam a resistência do bloco cerâmico. Os menores valores de resistência ocorrem quando acontece falha de coesão

da argamassa, sinalizando que sua resistência é inferior à resistência do bloco cerâmico e até mesmo inferior à resistência de aderência obtida na interface.

Mas é de conhecimento que como a cal possui partículas muito finas, ao serem misturadas com água, funcionam como lubrificante, o que acaba por reduzir o atrito entre os grãos de areia., permitindo assim melhor aderência. Sendo cerca de 25% o aumento da tensão de tração da cal com relação a convencional.

Por outro lado, observa-se que a redução da quantidade de cimento, para adição parcial da cal em relação ao volume total da mistura, contribuiu para a redução da resistência a compressão. Entende-se com os resultados obtidos que, para uma melhor verificação, poderiam ter sido feitas mais amostras para os traços, buscando uma precisão maior nos resultados.

REFERÊNCIAS

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Manual de revestimentos de argamassa**. São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://www.comunidadeconstrucao.com.br/upload/ativos/279/anexo/ativosmanu.pdf>>. Acesso em 4 Abril 2018.

ABPC - Associação Brasileira dos Produtores de Cal. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.abpc.org.br/>>. Acesso em: 06 Abril. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos – Preparo da mistura e determinação do índice de consistência**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13528: Revestimento de paredes e tetos de argamassas inorgânicas – Determinação da resistência de aderência à tração**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7175: Cal hidratada para argamassas - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção: Livros técnicos e científicos**. 4ª edição. São Paulo: LTC, 1992.

COELHO Ana Zulmira Gomes; Torgal F.P.; JALALI S. **A Cal na Construção**. TecMinho. Lisboa: Publidisa, 2009.

Edwards, D., Allen, G., Ball, R., & El-Turki, A. (2007). **Pozzolanic properties of glass fines in lime mortars**. *Advances in Applied Ceramics*, 106(6), 309-313.

Faria, P., Branco, T., Carneiro, J., Veiga, R., & Santos Silva, A. (2012a). **Argamassas com base em cal para reabilitação de rebocos**. In PATORREB 2012 - 4º Congresso de Patologia e Reabilitação de Edifícios (CD-ROM).

Faria, P., Silva, V., Carneiro, J., Branco, T., Mergulhão, D., & Antunes, R. (2012b).

Argamassas compatíveis com alvenarias históricas com base em cal hidráulica natural.

Paper presented at the CIReA 2012 - Conferência Internacional sobre Reabilitação de Estruturas Antigas de Alvenaria, 28-38.

GUIMARÃES, J. E. P. **A Cal: Fundamentos e Aplicações na Engenharia Civil.** 2ª ed. São Paulo: Pini, 2002.

Bibliografia consultada

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14399: Cal hidratada para argamassas – Determinação da água da pasta de consistência normal.** Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9290: Cal hidratada para argamassas – Determinação de retenção de água.** Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

TIGGEMANN, T. G. **Argamassas industrializadas para revestimento utilizadas na cidade de Lajeado/rs: comportamento em diferentes substratos.** Monografia (Graduação em Engenharia civil). Centro Universitário Univates, Lajeado, 2016.

SOBRE A ORGANIZADORA

AMANDA FERNANDES PEREIRA DA SILVA - Graduada em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Santo Agostinho (UNIFSA), é Mestranda em Ciência e Engenharia dos Materiais pelo Programa de Pós-Graduação (PPGCM) da Universidade Federal do Piauí (UFPI). Atua na área de pesquisa Materiais Magnéticos, Semicondutores e Semicondutores Magnéticos Diluídos com aplicações antibacterianas sob orientação do Professor Doutor Ramón Raudel e Professora Doutora Francisca Araújo. Além disso, seus temas de interesse são: Construção Civil, Patologia das Construções, Materiais da Construção Civil, Perícia Judicial, Concreto, Análise do Comportamento de Solos, Ensino de Engenharia e Educação à Distância.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Água 27, 28, 29, 30, 31, 34, 35, 37, 41, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 55, 57, 58, 59

Ambiental 16, 25, 26, 28

B

Baixo custo 25, 30

Biomassa 13, 14, 15, 16, 23, 24, 27

Bond tool 1, 2, 3, 4, 6, 9

Briquete 16, 20, 21, 22, 23

C

Cálcio 41, 42, 43, 49, 50

Carbono 14, 15, 16, 17, 23

Cause-effect diagram 2

Compactos de madeira 13

D

Densidade energética 13, 14, 15, 16, 18, 19, 22, 23

Design of experiments 1, 6, 7, 10

Doença 41

E

Energia 14, 15, 24, 25, 26, 27, 28, 35, 38, 39, 49

Energia renovável 25, 27

Engenharia 13, 17, 25, 26, 38, 59, 60

Engenharia Mecânica 13, 17, 25

Ensino superior 25, 26

F

Fármaco 41

Ferro 41, 42, 46

G

Geração de energia 14, 25, 26, 27, 28, 38

M

Machines 1, 2, 3, 4, 5, 10, 38

Madeira 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 22, 23, 24, 28

Magnésio 41, 44, 46, 50

Medicamentos 40, 41, 42, 46

Minerais 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 49

P

Potássio 41, 44, 45, 46

Power 3, 5, 6, 7, 9, 10, 25, 38

Pressão de compactação 13

Propriedades energéticas 13, 15, 22, 23

Protótipo 25, 26, 28, 29, 30, 32, 33, 36, 37, 38

Pull test 1, 3, 4, 8, 9

R

Resíduo 13, 15, 20

Resíduos sólidos de qualquer madeira 13

Rosca de arquimedes 25

S

Six sigma 1, 10, 11, 12

Sólidos carbonáceos 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23

Strength 5, 24, 47

T

Temperature 1, 6, 7, 8, 9, 10, 24

Tools 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10

Tratamento 41, 42, 43, 45, 46

U

Ultrasound solder 1

Z

Zinco 29, 41, 43, 46

ENGENHARIAS:

BENEFÍCIOS PARA A INDÚSTRIA

E PARA A SOCIEDADE

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

📷 @atenaeditora

📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br

ENGENHARIAS:

BENEFÍCIOS PARA A INDÚSTRIA

E PARA A SOCIEDADE

🌐 www.atenaeditora.com.br

✉ contato@atenaeditora.com.br

📷 @atenaeditora

📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br