



Gestão da Produção numa Central a Biomassa: Rentabilização de Excedentes

PEDRO SILVA GONÇALVES FERREIRA

maio de 2021

GESTÃO DA PRODUÇÃO NUMA CENTRAL A BIOMASSA: RENTABILIZAÇÃO DE EXCEDENTES

Pedro Silva Gonçalves Ferreira



Departamento de Engenharia Eletrotécnica
Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia
2021

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de TEDSE
–Dissertação/Estágio do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de
Energia

Candidato: Pedro Silva Gonçalves Ferreira, N° 1100368, 1100368@isep.ipp.pt

Orientação científica: Teresa Alexandra Nogueira, TAN@isep.ipp.pt

Empresa: ENERGEST

Supervisão: Jorge Ferraz, majorbafe@gmail.com



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2021

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a minha orientadora, Professora Doutora Teresa Nogueira do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), a sua disponibilidade, colaboração e conhecimento.

Agradeço ao Engenheiro Jorge Ferraz, todo o apoio prestado e todos os conhecimentos transmitidos.

Agradeço ao Engenheiro Daniel Tavares, pela partilha de conhecimento e apoio.

Agradeço a Dr. Ana Rita, que sempre me motivou para a realização deste trabalho.

Resumo

Devido á crescente preocupação com as questões ambientais e de sustentabilidade, a utilização de combustíveis fósseis para a produção de energia elétrica tem diminuído em relação a utilização dos recursos renováveis como é o caso da biomassa. É neste contexto energético orientado para a sustentabilidade que surge este estudo de medidas de melhoria, de modo a rentabilizar os excedentes duma central termoelétrica de combustão de biomassa.

Dado o autor estar envolvido no projeto e construção de uma central termoelétrica a biomassa florestal, surge da ideia de otimizar o funcionamento desta, uma vez que devido á operação, características e atrasos nas reações de todo o processo térmico, existe desperdício de energia térmica que por sua vez poderia ser convertida em energia elétrica.

Para isso foram escolhidos vários equipamentos que permitissem absorver essa energia que iria ser desperdiçada, colocando-os em funcionamento, o que iria permitir que em momentos de baixa produção de energia elétrica estes não fossem necessários ser acionados, existindo assim armazenamento de energia.

Inicialmente é apresentada uma caracterização dos equipamentos, e processos presentes numa central termoelétrica a biomassa, com o objetivo de compreender a complexidade do seu funcionamento. Em seguida é explicado o funcionamento da central em estudo bem como todos os seus constituintes, sendo analisado o perfil de funcionamento da mesma nos meses em estudo.

Em sequência do parágrafo anterior, foram desenvolvidos os novos diagramas lógicos com a finalidade de otimizar o funcionamento dos equipamentos escolhidos relativamente ao desperdício de energia existente, o que permitiu realizar várias simulações para verificar a efetividade das novas lógicas desenvolvidas bem como desenvolver a programação necessária para ser implementada no autómato existente de acordo com a nova lógica desenvolvida.

No final serão analisados os resultados obtidos, resultantes das várias simulações para diferentes cenários, e apresentadas as conclusões de todo o trabalho desenvolvido.

Palavras-Chave

Conversão da biomassa, Central termoelétrica, Excesso de energia, Válvula de *bypass*, Simulação do comportamento do sistema, Diagrama funcional, Medidas de melhoria

Abstract

Due to the growing concern with environmental and sustainability issues, the use of fossil fuels for the production of electric energy has decreased in relation to the use of renewable resources such as biomass. It is in this energy context oriented towards sustainability that this study of improvement measures appears in order to profit from the surplus of a biomass combustion thermoelectric plant.

Since the author is involved in the design and construction of a forest biomass thermoelectric plant, it arises from the idea of optimizing its operation, since due to the operation, characteristics and delays in the reactions of the entire thermal process, there is a waste of thermal energy which could in turn be converted into electrical energy.

For this purpose, various equipment was chosen that would allow to absorb this energy that would be wasted, putting them into operation, which would allow that in moments of low production of electrical energy, these would not be necessary to be activated, thus existing energy storage.

Initially, a characterization of the equipment and processes present in a biomass thermoelectric plant is presented, in order to understand the complexity of its operation. Then, the operation of the plant under study is explained, as well as all its constituents, and the profile of its operation in the months under study is analyzed.

Following the previous paragraph, the new logic diagrams were developed in order to optimize the operation of the chosen equipment in relation to the existing energy waste, which allowed several simulations to be carried out to verify the effectiveness of the new logic developed, as well as to develop the necessary programming for be implemented in the existing automaton according to the new logic developed.

At the end, the results obtained, resulting from the various simulations for different scenarios, will be analyzed and the conclusions of all the work developed will be presented.

Keywords

Biomass conversion, Thermoelectric plant, Excess energy, *Bypass* valve, Simulation of system behavior, Functional diagram, Improvement measures

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2. CARATERIZAÇÃO DO ESTUDO	3
1.3. OBJETIVOS	5
1.4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO	7
2. INSTALAÇÕES A BIOMASSA: PROCESSOS	9
2.1. BIOMASSA NA MATRIZ ENERGÉTICA	9
2.2. OBTENÇÃO DE ENERGIA PELA BIOMASSA	11
2.2.1. TRANSFORMAÇÃO DA BIOMASSA EM ENERGIA ELÉTRICA	13
2.2.2. ENERGIA CONTIDA NA BIOMASSA	14
3. EQUIPAMENTOS DE CONVERSÃO DA BIOMASSA	15
3.1. PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO	15
3.2. CÂMARA DE COMBUSTÃO	17
3.3. CALDEIRA	19
3.4. SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE ÁGUA	20
3.5. TURBINA A VAPOR	24
4. CASO DE ESTUDO	27
4.1. CARATERIZAÇÃO DA CENTRAL TERMOELÉTRICA	27
4.2. FUNCIONAMENTO ATUAL DA INSTALAÇÃO	29
4.2.1. ENERGIA EXPORTADA	29
4.2.2. VÁLVULA DE <i>BYPASS</i>	32
4.2.3. ANÁLISE DE INEFICIÊNCIAS	34
4.3. MEDIDAS DE MELHORIA	35
4.3.1. ATUAÇÃO NA VÁLVULA DE <i>BYPASS</i>	36
4.3.2. CAUDAL TURBINADO <i>VERSUS</i> POTÊNCIA	38

4.3.3.	PRODUÇÃO DE ÁGUA TRATADA.....	39
4.3.4.	TRITURADOR	42
4.3.5.	SISTEMA DE AQUECIMENTO DE BIOMASSA.....	43
4.4.	FERRAMENTA UTILIZADA.....	44
4.4.1.	LINGUAGENS DE PROGRAMAÇÃO	45
4.4.2.	BLOCOS DE ORGANIZAÇÃO.....	47
5.	METODOLOGIA DE OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO	49
5.1.	MEDIDAS PROPOSTAS	49
5.1.1.	SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ÁGUA TRATADA	49
5.1.2.	TRITURADOR	50
5.1.3.	SISTEMA DE AQUECIMENTO DE BIOMASSA.....	51
5.2.	FLUXOGRAMA	51
5.3.	PROGRAMAÇÃO.....	56
5.4.	SIMULAÇÃO DE NOVA OPERAÇÃO	70
5.5.	RESULTADOS OBTIDOS.....	79
5.5.1.	ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO INDIVIDUAL DOS SISTEMAS	79
5.5.2.	ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO COLETIVA DOS SISTEMAS	85
5.5.3.	GANHOS DE EFICIÊNCIA.....	89
5.5.4.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
6.	CONCLUSÕES	95
6.1.	ASPETOS CONCLUSIVOS.....	95
6.2.	PERSPETIVAS FUTURAS.....	96
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

Índice de Figuras

Figura 1 - Evolução da dependência energética de Portugal.....	2
Figura 2 - Esquema Unifilar Central Biomassa.....	4
Figura 3 - Layout da central	5
Figura 4- Evolução da produção bruta de eletricidade em Portugal (GWh)	10
Figura 5- Evolução da capacidade Instalada para a produção de eletricidade em Portugal por tipo de fonte (MW).....	10
Figura 6- Ciclo da Biomassa	12
Figura 7 - Processos de Conversão térmica e produtos finais	13
Figura 8 – Relação entre o PCI e o teor de humidade	14
Figura 9 -Princípio de funcionamento de uma turbina a vapor	15
Figura 10 - Processos de um Ciclo Rankine (Temperatura/Entropia).....	16
Figura 11 - Principais tecnologias de combustão de biomassa	17
Figura 12 - A esquerda um esquema de uma caldeira aquatubular e a direita esquema de uma caldeira pirotubular	19
Figura 13 - Caldeira pirotubular com purga contínua e periódica.....	21
Figura 14 - Osmose vs Osmose Inversa	22
Figura 15 - Sistema de degaseificação.....	24
Figura 16 - Esquema de um sistema com uma turbina de condensação (esquerda) e uma turbina de contração (Direita)	25
Figura 17 - Layout Central Termoelétrica.....	28
Figura 18 – Potência ativa exportada em outubro (situação atual)	30
Figura 19 - Potência ativa exportada em novembro (situação atual)	30
Figura 20 - Potência ativa exportada em dezembro (situação atual).....	30
Figura 21 – Energia exportada para a rede em outubro, novembro e dezembro (situação atual)	31
Figura 22 - Variação da percentagem de abertura da válvula de bypass no mês de outubro (situação atual).....	32
Figura 23 - Variação da percentagem de abertura da válvula de bypass no mês de novembro (situação atual)	32
Figura 24 - Variação da percentagem de abertura da válvula de bypass no mês de dezembro (situação atual)	33
Figura 25 – Total de horas em que a abertura da válvula de bypass maior que 0%	34
Figura 26 – Layout 2 central termoelétrica	36
Figura 27 – Relação entre percentagem de abertura válvula de bypass e o caudal de vapor	38
Figura 28 – Relação entre o caudal de vapor turbinado e a potencia ativa gerada.....	39
Figura 29 - Layout do sistema de produção de água tratada	40

Figura 30 – Variação do nível de água no tanque de água tratada no mês de outubro.....	41
Figura 31 – Variação do estado de funcionamento do triturador no mês de outubro (Situação atual)	42
Figura 32 – Layout sistema de aquecimento de biomassa.....	43
Figura 33 – Visão geral TIA PORTAL	44
Figura 34 - Exemplo Linguagem Ladder (LAD)	45
Figura 35- Exemplo Linguagem Function block diagram (FBD)	46
Figura 36 - Exemplo Linguagem Structured Control Language (SCL)	46
Figura 37- Estrutura de programação TIA PORTAL.....	47
Figura 38 – Fluxograma relativo ao novo funcionamento do sistema de produção de água tratada	52
Figura 39 – Fluxograma do novo princípio de funcionamento do triturador	53
Figura 40 – Princípio de funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa 1.....	54
Figura 41 – Novo funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa 2	55
Figura 42 – Programação Tia Portal (Pulse)	56
Figura 43 - Programação Tia Portal (Conta horas e minutos).....	57
Figura 44 - Programação Tia Portal (Tratamento de água 1).....	59
Figura 45 – Excerto do fluxograma sistema de produção de água tratada (Funcionamento obrigatório).....	60
Figura 46 - Programação Tia Portal (Tratamento de água 2).....	61
Figura 47 - Excerto do fluxograma sistema de produção de água tratada (Ordem de Funcionamento).....	61
Figura 48 - Excerto do fluxograma sistema de produção de água tratada (Tempo mínimo de funcionamento).....	62
Figura 49 - Excerto do fluxograma sistema de produção de água tratada (Nível superior 70 %)	63
Figura 50 - Programação Tia Portal (Triturador)	64
Figura 51 - Excerto do fluxograma do funcionamento do triturador (Ordem de funcionamento) ...	65
Figura 52 - Excerto do fluxograma do funcionamento do triturador (Tempo mínimo de funcionamento).....	65
Figura 53 - Excerto do fluxograma do funcionamento do triturador (Funcionamento devido bybass)	65
Figura 54 - Excerto do fluxograma do funcionamento do triturador (Tempo mínimo parado)	66
Figura 55 - Programação Tia Portal (Sistema aquecimento de 10 em 10 minutos)	67
Figura 56 - Excerto do fluxograma do funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa 2 (Ordem de funcionamento)	68
Figura 57 - Excerto do fluxograma do funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa 2 (Tempo mínimo de funcionamento).....	68

Figura 58 - Excerto do fluxograma do funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa 2 (Funcionamento devido bybass).....	68
Figura 59 - Excerto do fluxograma do funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa 2 (Tempo mínimo parado).....	69
Figura 60 - Programação Tia Portal (Sistema aquecimento bypass).....	69
Figura 61 – Simulação sistema de tratamento de água (1).....	70
Figura 62 – Simulação sistema de tratamento de água (2).....	71
Figura 63 – Simulação sistema de tratamento de água (Lógica).....	72
Figura 64 - Simulação de acordo com a nova ideologia de funcionamento do triturador.....	75
Figura 65 - Simulação de acordo com a nova ideologia de funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa.....	77
Figura 66 – Variação do novo nível do tanque de água tratada no mês de outubro.....	79
Figura 67 – Variação do novo nível do tanque de água tratada no mês de outubro (excerto 1)	81
Figura 68 - Variação do novo nível do tanque de água tratada no mês de outubro (excerto 2)	81
Figura 69 – Variação do estado de funcionamento do triturador de acordo com a nova simulação no mês de outubro	82
Figura 70 – Variação do funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa	84
Figura 71 - Variação do estado de funcionamento do novo sistema de aquecimento de biomassa .	85

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Sistema sem uso do sistema de osmose inversa.....	22
Tabela 2 - Sistema com a aplicação do sistema de osmose inversa	23
Tabela 3 – Energia não aproveitada devido a abertura válvula de bypass quando atingido o limite máximo de injeção na rede.....	35
Tabela 4 – Resumo do funcionamento atual do sistema de tratamento de água	41
Tabela 5 – Válvula de bypass vs sistema tratamento de água mês de outubro	82
Tabela 6 - Comparação entre o funcionamento atual e o funcionamento idealizado relativo ao triturador no mês de outubro	83
Tabela 7 - Tempo de funcionamento e valorização do sistema de aquecimento de biomassa.....	85
Tabela 8 - Tabela resumo relativa a análise do funcionamento em simultâneo da nova metodologia de funcionamento	86
Tabela 9 - Tabela resumo nos casos em que não existe necessidade de colocar o triturador em funcionamento.....	88
Tabela 10 - Tabela resumo relativa a análise do funcionamento em simultâneo da nova metodologia de funcionamento (exclusões).....	89
Tabela 11 - Tabela resumo relativa a análise do funcionamento em simultâneo da nova metodologia de funcionamento (Preferências).....	91

Acrónimos

FB	–	Function Block
FBD	–	Function Block Diagram
FC	–	Function
HMI	–	Human-Machine Interface
LAD	–	Ladder
OB	–	Organization Block
PCS	–	Poder Calorífico Superior
PCI	–	Poder Calorífico Inferior
PLC	–	Programmable Logic Controller
RESP	–	Rede Elétrica de Serviço Público
SCL	–	Structured Control Language
TIA	–	Totally Integrated Automation

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A presente dissertação insere-se na área da produção de energia elétrica através da combustão de biomassa em centrais termoelétricas e tem como objetivo a otimização de produção de energia elétrica das mesmas.

Na atualidade cada vez mais as sociedades encontram-se dependentes da energia elétrica e esta está diretamente relacionada com fatores políticos, económicos e ambientais.

Existe a necessidade de reduzir o uso de combustíveis fósseis, visto que quando esgotados só existirão novamente passado um longo período de tempo, para além de que a combustão destes origina gases, como o dióxido de carbono, que estão diretamente relacionados com o efeito de estufa, contribuindo assim para o aumento do aquecimento global. Segundo os dados da *World Health Organization* [1], existem cerca de 4.2 milhões de óbitos devido a exposição a poluição existente no ar.

Pelo exposto anteriormente, é assim necessário recorrer a fontes de energia renováveis, uma vez que estas podem ser repostas num espaço de tempo muito inferior, com ou sem intervenção humana e contribuem, a nível económico, para a diminuição da dependência energética.

Embora a queima de biomassa provoque a libertação de dióxido de carbono na atmosfera, este, foi previamente absorvido pelas plantas (biomassa) resultando assim num balanço de CO_2 nulo. De acordo com a informação da *Direção Geral de Energia e Geologia* [2], a dependência energética de Portugal diminuiu 7,4 % entre 2008 e 2018, como se pode verificar na Figura 1 [2], derivado da aposta nas energias renováveis e na eficiência energética.

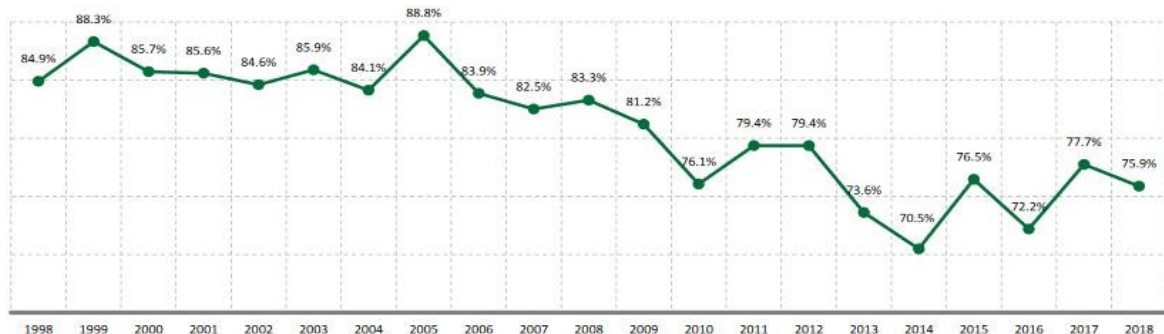


Figura 1 - Evolução da dependência energética de Portugal

No que diz respeito a potência elétrica instalada no país, existiu um aumento de 57,8 %, entre 2009 e 2019, relativamente a potência elétrica instalada de origem renovável, e para o mesmo período existiu um decréscimo de 13,3 % relativamente a potência elétrica instalada de origem não renovável [2].

É importante referir que segundo a *Associação Portuguesa de Energias Renováveis* [3], em relação ao balanço da produção de eletricidade em Portugal continental, entre janeiro de 2020 e dezembro de 2020, 61,7 % da produção de eletricidade foi de origem renovável correspondente a 30416 GWh, e 6,7 % foram correspondentes a energia elétrica obtida através de Biomassa. Já em 2019, no mesmo período, 56,0 % da produção de eletricidade foi de origem renovável e 5,8 % foram correspondentes a energia elétrica obtida através de biomassa.

1.2. CARATERIZAÇÃO DO ESTUDO

Este trabalho surgiu, devido ao facto de o autor estar empregado numa empresa vocacionada para a consultoria em engenharia. A partir de 1990, torna-se numa empresa de *Engineering & Contracting* e centra as suas atividades na conceção, projeto, construção e montagem de equipamentos e instalações térmicas industriais, para as mais diversas áreas de negócios. A sua atuação abrange os domínios da Energia, do Ambiente e do processo, incluindo as valências de mecânica, eletricidade, automação e supervisão de sistemas.

Em consequência da sua atividade profissional, o autor esteve envolvido no projeto, construção e comissionamento de uma central termoelétrica a biomassa de 14 MWe. Esta central tem como o objetivo a produção e venda, à rede elétrica, de energia elétrica a partir da queima de biomassa. Deste modo, a partir da queima de biomassa é produzido vapor de água sobreaquecido. Devido a esta vaporização, o vapor resultante é direcionado para uma turbina que converte esta energia térmica em energia mecânica (rotação de um veio). Este veio está acoplado a um gerador elétrico que converte a energia mecânica em energia elétrica.

A energia elétrica, á saída do gerador, não é na sua totalidade injetada na rede elétrica uma vez que a central dispõe de equipamentos elétricos necessários para o seu funcionamento e estes são alimentados a partir do gerador. Assim a energia injetada na rede é resultante da subtração entre a energia a saída do gerador e a energia necessária aos consumos internos na central. De acordo com o esquema unifilar da central (ver Figura 2), esta é constituída por dois transformadores, 10.5kV/400V, necessários para a alimentação elétrica dos equipamentos necessários para o funcionamento da mesma, consumos internos, identificados na Figura 2, com os números “3” e “4”. Na sua constituição também faz parte o transformador elevador, 10.5kV/15kV, identificado com o número “1” na Figura 2, onde é realizada a interligação da central com a rede elétrica. Por fim é possível ainda identificar o grupo gerador de eletricidade identificado com o número “2” na Figura 2. O barramento identificado com o número “5”, 12kV, é o ponto de interligação entre o transformador “1” e os transformadores “4” e “3” bem como o grupo gerador “2”.

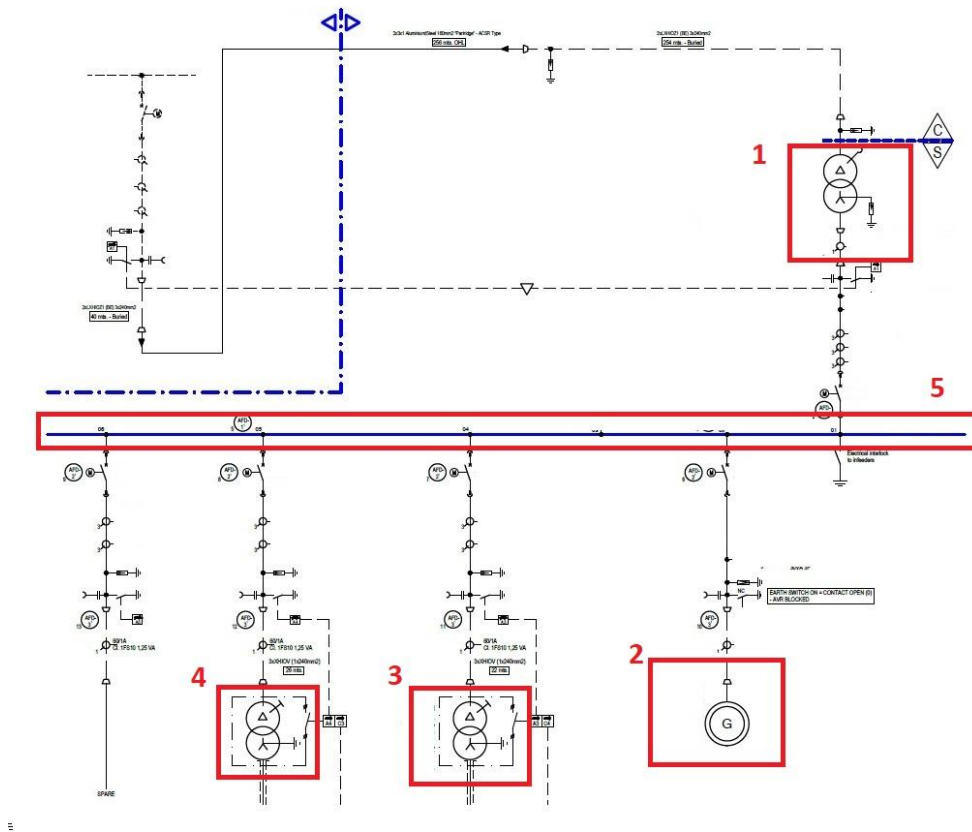


Figura 2 - Esquema Unifilar Central Biomassa

No ponto de ligação, a rede do sistema elétrico de serviço público apresenta uma limitação da potência injetada. Como esta central se encontra sobredimensionada em relação ao ponto de injeção, a partir de certo limite a turbina não pode aceitar mais energia térmica do que aquela que é imposta como limite pela rede.

Assim sendo, e devido á operação, características e atrasos nas reações de todo o processo térmico, há uma acumulação sucessiva de energia sob a forma de aumento de pressão nas tubagens e barrilete. Para não atingir os patamares de segurança, o sistema dispõe de uma válvula de *bypass* á turbina que pode ser operada em paralelo com a mesma, por forma a aliviar esse excesso de pressão, e manter o sistema dentro de valores nominais.

Na Figura 3, relativa ao *layout* da central, é possível identificar a válvula de *bypass*, “1”, a tubagem que transporta o vapor proveniente dos barriletes das caldeiras “2”, a turbina “3” e por fim o gerador elétrico “4”.

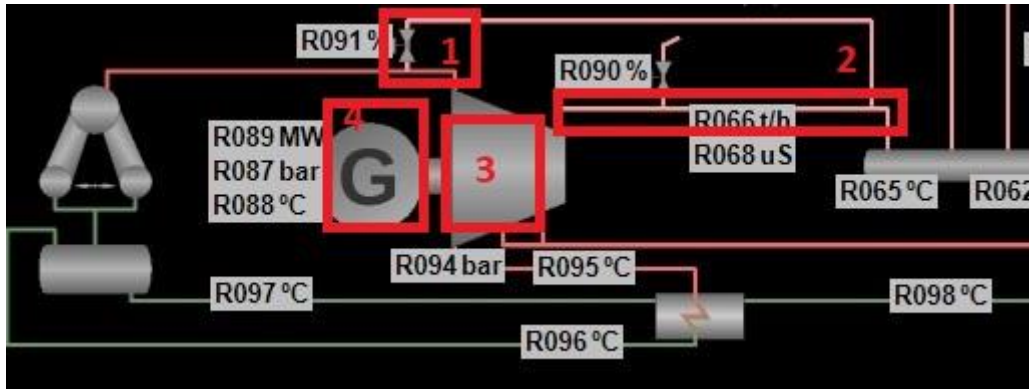


Figura 3 - Layout da central

Nos momentos em que há excesso de energia térmica, por limitação da rede, a operação dessa válvula, “1”, representa obviamente desperdício de energia térmica.

Devido às características do processo é quase impossível prever quando ocorrerão estes momentos de excesso de energia térmica.

Assim se nos momentos de abertura da válvula de *bypass* fosse possível aumentar os consumos internos da instalação, a válvula de *bypass* iria abrir com uma percentagem mais reduzida e irá existir um aumento da eficiência energética da instalação.

1.3. OBJETIVOS

De acordo com o referido anteriormente, o autor procurou os equipamentos da central onde fosse possível absorver esse excesso de energia elétrica.

Os elementos foram selecionados pela sua capacidade de, ao funcionarem nos momentos de excesso de energia, não necessitarem de despendar energia noutros momentos e de serem equipamentos que possam ser acionados a pedido, isto é, são equipamentos indispensáveis para o funcionamento da instalação, mas que não tem que permanecer em operação contínua.

Os equipamentos escolhidos foram o sistema de produção de água tratada, um triturador de biomassa e um sistema de aquecimento da mesma.

Assim sendo, ao consumir-se esta energia que seria de outra forma desperdiçada, dá-se um efeito de armazenamento de energia. Ainda que se consuma energia elétrica e a sua origem foi o excesso de energia térmica, estamos a conservar essa energia numa forma não elétrica e a evitar que em momentos que não exista excesso de energia estes sistemas não sejam necessários serem acionados contribuindo para a diminuição dos consumos internos que por sua vez permite um incremento na energia injetada na rede elétrica.

O objetivo deste trabalho é efetuar a simulação do comportamento do sistema, partindo dos valores reais de um mês, utilizando a lógica presente nos diagramas funcionais desenvolvidos pelo autor e obter o comportamento do sistema com a utilização das cargas tendo em conta os períodos de excesso de energia.

Para a realização da simulação é utilizado o *Microsoft Excel* que através das condições lógicas desenvolvidas pelo autor, que vão de encontro aos fluxogramas definidos pelo mesmo, irá permitir simular o novo número de horas de funcionamento dos equipamentos bem como o seu dispêndio energético. Será assim possível no final comparar a energia elétrica total injetada no mês em questão, com a energia total injetada se o sistema funcionar de acordo com o idealizado isto sem comprometer e afetar o normal funcionamento da instalação. Neste trabalho está também contemplado o desenvolvimento da programação de acordo com os fluxogramas desenvolvidos, na mesma plataforma de desenvolvimento implementada na central.

A automação da central é realizada através de um autómato programável da marca *Siemens*, modelo S7-1500. No que diz respeito a programação, o software utilizado é o *Siemens totally integrated automation portal, TIA Portal, V14* e a linguagem de programação utilizada é do tipo *Ladder (LAD)* e *Function Block Diagram (FBD)*.

O objetivo deste trabalho é assim colmatar esta lacuna, que é condição própria do sistema, de forma a proporcionar um maior rendimento possível.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

O relatório está dividido em 6 capítulos.

O primeiro capítulo tem função de contextualizar o tema da dissertação e apresentar os seus objetivos.

No segundo capítulo é descrita a situação energética em Portugal.

No terceiro capítulo é abordado o tema da biomassa bem como os processos de transformação da mesma em energia e por fim são abordados os principais constituintes de um central termoelétrica a biomassa.

O quarto capítulo é dedicado ao caso de estudo que originou este trabalho, sendo caracterizada a central em estudo bem como as ineficiências passíveis de ser melhoradas. É também referenciada a ferramenta utilizada para implementar a nova metodologia de funcionamento dos equipamentos no *programmable logic controller, PLC*, da central.

No quinto capítulo é abordada a metodologia proposta para a otimização do funcionamento dos equipamentos, o desenvolvimento da programação de acordo com os fluxogramas criados bem como os resultados obtidos resultantes da simulação segundo os fluxogramas e equações desenvolvidas.

Por fim no sexto capítulo são apresentadas as conclusões resultantes da simulação com vista a verificar a viabilidade do trabalho desenvolvido.

2. INSTALAÇÕES A BIOMASSA: PROCESSOS

2.1. BIOMASSA NA MATRIZ ENERGÉTICA

Em Portugal, de acordo com o 6º inventário florestal nacional elaborado pelo Instituto da conservação da Natureza e das Florestas [4], existe um aumento de biomassa lenhosa e do carbono armazenado nas árvores vivas em espaços florestais resultado da alteração da composição específica da floresta, e da melhoria dos métodos de avaliação.

Relativamente ao sistema electroprodutor nacional, em 2019, (ver Figura 4) [5], existiu uma produção bruta de eletricidade de 53155 GWh, verificando-se um decréscimo de 10,9 % face a 2018, tendo o consumo sido compensado através da importação. Da produção total de eletricidade cerca de 54,3 % teve origem em fontes renováveis de energia. Dos 54,3 %, 11,7 % correspondem a produção de eletricidade a partir de biomassa, energia térmica renovável, enquanto 4,6 % corresponderam ao solar fotovoltaico [5].

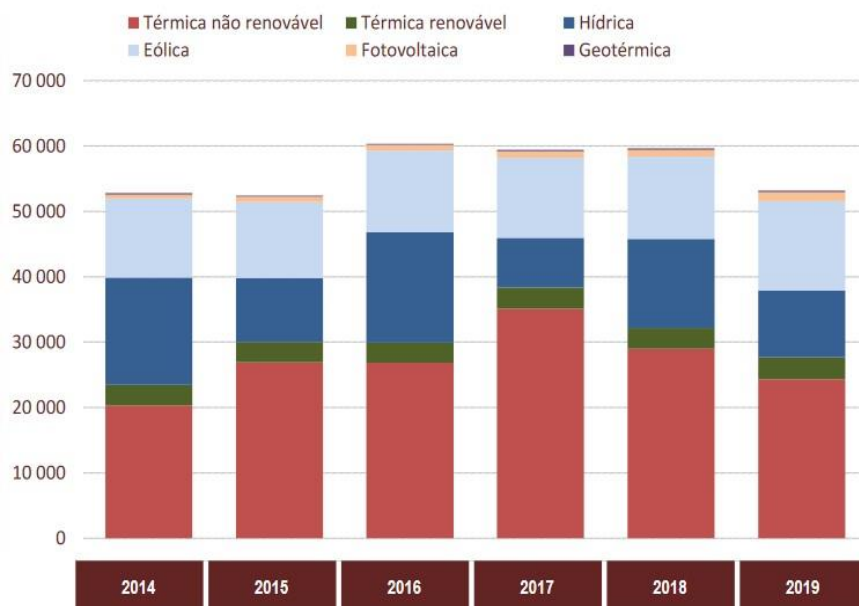


Figura 4- Evolução da produção bruta de eletricidade em Portugal (GWh)

No que diz respeito a capacidade instalada (ver Figura 5) [6], Portugal, no mesmo ano registou um total de 22 GW [2], dos quais 14402 MW, dizem respeito a tecnologias renováveis. Do total da capacidade instalada, 693 MW correspondem a centrais que utilizam biomassa. Desde 2011 até 2019 a capacidade instalada, relativa a centrais de biomassa, aumentou 134 MW [6].

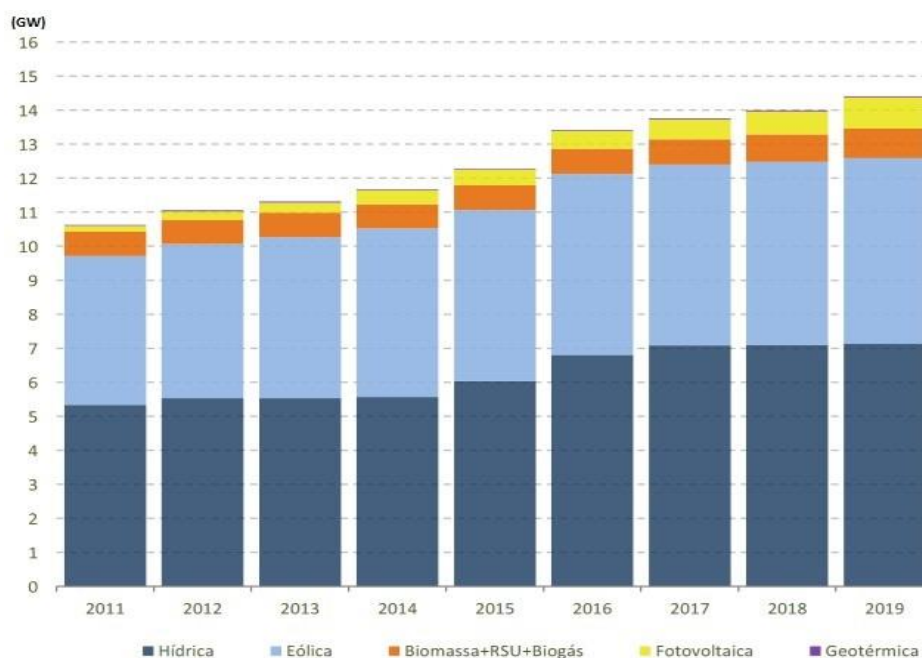


Figura 5- Evolução da capacidade Instalada para a produção de eletricidade em Portugal por tipo de fonte (MW)

Relativamente a visão estratégica de Portugal para o horizonte de 2030, a transição energética com vista a promover a descarbonização em Portugal passará indiscutivelmente pelo sector da eletricidade visto que Portugal tem um enorme potencial para o desenvolvimento de um setor produtor de eletricidade fortemente descarbonizado uma vez que tem uma grande disponibilidade de recursos endógenos renováveis entre eles a biomassa. Para potencializar o uso de biomassa para usos energéticos estão definidas as seguintes linhas de atuação [7]:

- Promover o uso de biomassa residual de origem florestal e agrícola;
- Apoiar o estabelecimento de áreas de culturas com fins energéticos de espécies florestais de muita curta rotação;
- Promover o uso de produtos agrícolas e florestais como substitutos de matérias-primas de origem fóssil;
- Promover a aquisição e renovação de sistemas de produção de calor e frio a partir de fontes renováveis de energia;
- Promover e apoiar a instalação de pequenas centrais térmicas descentralizadas de menor dimensão;
- Promover e apoiar a disseminação de centros de recolha, armazenamento e disponibilização de biomassa a nível municipal ou intermunicipal;
- Promover ações de informação e sensibilização.

No sector da indústria prevêem-se reduções de cerca de 47% em 2030 a 59% em 2040, relativamente aos gases do efeito de estufa, devido as melhorias expectáveis na eficiência energética na utilização de combustíveis menos poluentes, com a incorporação de mais combustíveis derivados de resíduos e biomassa [7].

2.2. OBTENÇÃO DE ENERGIA PELA BIOMASSA

A biomassa é toda a matéria orgânica não fossilizada e biodegradável de origem vegetal, animal e microrganismos. Devem ser incluídos também todos os produtos e subprodutos, resíduos da silvicultura e agricultura, bem como as frações não fossilizadas e biodegradáveis dos resíduos provenientes da indústria e dos municípios [8].

Para que a biomassa seja considerada um recurso renovável tem que ser aplicável pelo menos uma das seguintes condições [9]:

- Proveniente de florestas em que exista uma gestão sustentável para que a reserva de carbono nessa área não diminua sistematicamente ao longo do ano;
- Proveniente de terras cultivadas e/ou pastagens no caso de a biomassa ser madeira;
- Proveniente de terras cultivadas e/ou pastagens no caso de a biomassa não ser madeira;
- Ser a fração não fóssil de um resíduo industrial ou municipal;
- Ser um resíduo proveniente da agricultura, silvicultura e indústrias relacionadas.

Visto que a biomassa é formada através da fotossíntese, como se pode observar na Figura 6 [10], quando os organismos vivos morrem, os microrganismos decompõem a sua matéria nos seus constituintes, entre os quais, o dióxido de carbono. Uma vez que o dióxido de carbono foi absorvido pelo organismo vivo no passado, então a sua libertação para a atmosfera não vai aumentar a quantidade total existente no planeta.

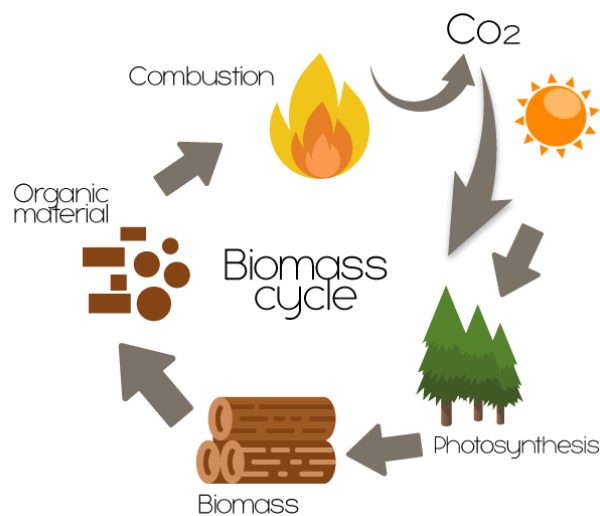


Figura 6- Ciclo da Biomassa

2.2.1. TRANSFORMAÇÃO DA BIOMASSA EM ENERGIA ELÉTRICA

A biomassa pode ser valorizada em energia através de vários processos. As centrais térmicas de queima deste combustível utilizam processos termoquímicos que incluem a combustão, pirolise e gaseificação [11]:

Pirolise Através desta técnica o combustível é exposto a elevadas temperaturas sem a presença de oxigénio, como o objetivo de acelerar a composição da mesma. Através deste processo obtém-se óleos vegetais e carvão vegetal.

Gaseificação É um processo muito semelhante a pirolise, em que a temperatura utilizada é inferior e o produto final resultante é apenas gás inflamável.

Combustão Neste processo é realizada a queima da biomassa com a presença de oxigénio e os gases resultantes dessa combustão são utilizados para aquecer e elevar a temperatura de um determinado fluido que por sua vez irá gerar vapor a elevada pressão. Este vapor é geralmente utilizado em turbinas (energia mecânica) e convertido em energia elétrica através de um gerador.

Na Figura 7 [12], são apresentadas as tecnologias mencionadas, os produtos obtidos e as suas aplicações.

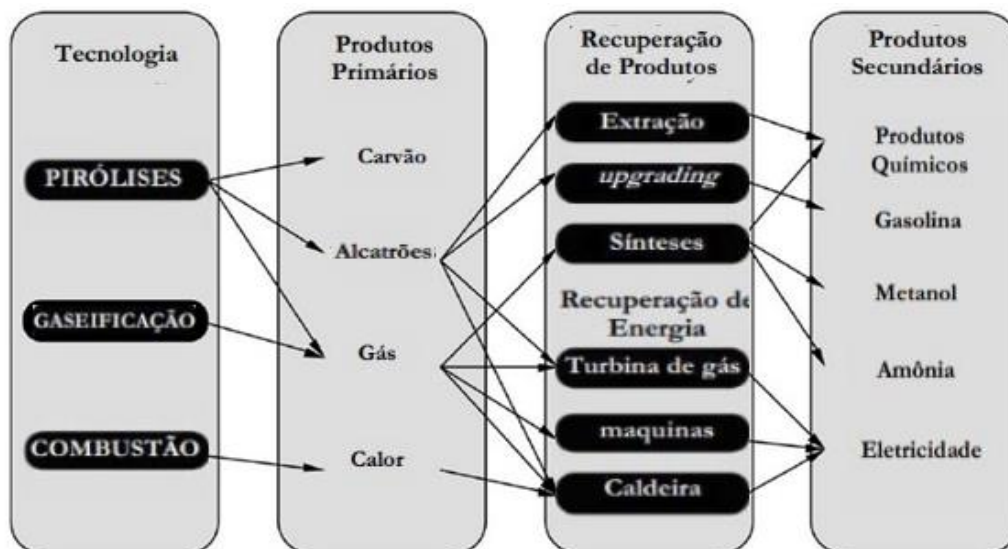


Figura 7 - Processos de Conversão térmica e produtos finais

2.2.2. ENERGIA CONTIDA NA BIOMASSA

O poder calorífico de um combustível é o valor absoluto da quantidade de calor libertado na combustão completa da unidade de massa do combustível com oxigénio, e apresenta-se em termos do conteúdo de energia por unidade de massa em J/kg. O poder calorífico é normalmente expresso como poder calorífico superior (PCS) ou poder calorífico inferior (PCI) [13]. O poder calorífico superior resulta da soma da energia libertada sob a forma de calor com a energia gasta para a vaporização da água que se forma numa reação de oxidação, enquanto que o poder calorífico inferior resulta apenas da energia libertada na forma de calor [14].

O teor de humidade presente na biomassa, definido como a quantidade de água por unidade de massa de combustível, para além de afetar o processo de conversão energética bem como o volume de gases combustíveis produzidos, também afeta o seu poder calorífico. Estas duas variáveis são inversamente proporcionais, isto é, quanto maior a quantidade de humidade, menor será o poder calorífico, (ver Figura 8) [15].

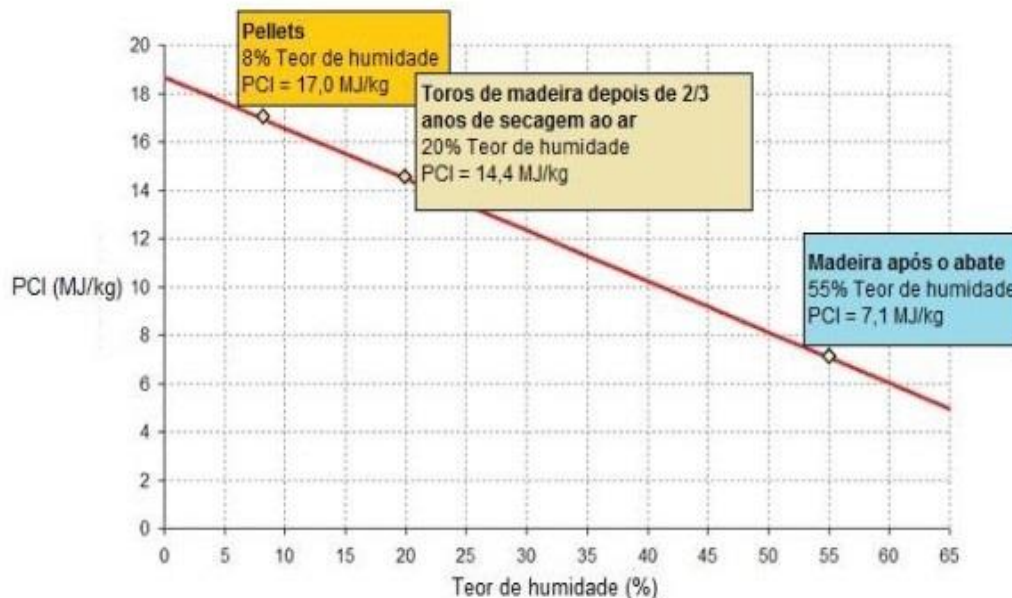


Figura 8 – Relação entre o PCI e o teor de humidade

3. EQUIPAMENTOS DE CONVERSÃO DA BIOMASSA

3.1. PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

As centrais termoelétricas, a biomassa, têm como o único objetivo a produção de energia elétrica através da combustão de combustíveis sólidos. Este tipo de centrais térmicas tem na sua constituição quatro elementos essenciais (ver Figura 9) [16]: Caldeira (*Boiler*), Turbina (*Turbine*), Bomba do fluido (*Pump*) e o Condensador (*Condenser*) [17].

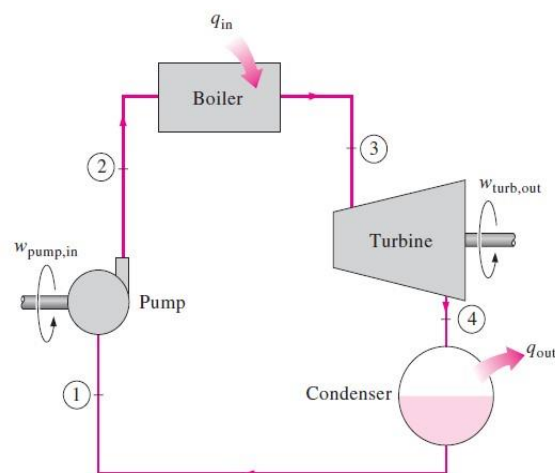


Figura 9 -Princípio de funcionamento de uma turbina a vapor

A tecnologia utilizada neste tipo de centrais tem por base o “Ciclo de Rankine”. Este ciclo é um ciclo termodinâmico reversível que tem como objetivo transformar calor em trabalho e relaciona a temperatura com a entropia do sistema [16]. Tem como fluido motor a água ou então utiliza um solvente orgânico.

Existem quatro processos neste ciclo (ver Figura 10) [16], em que o fluido motor sofre alteração das suas propriedades. De acordo com a numeração presente na figura anterior (1, 2, 3 e 4) os processos são [18] [19]:

Processo 1-2: Primeiramente o fluido é bombeado através de uma bomba.

Processo 2-3: O fluido pressurizado pela bomba entra numa caldeira onde é aquecido pelos gases resultantes da combustão do combustível a uma pressão constante, aumento da entropia. Quando a temperatura do vapor é superior a temperatura de saturação o vapor é sobreaquecido (Ponto 3 da Figura 10).

Processo 3-4: O vapor sobreaquecido aumenta o seu volume através de uma turbina com o objetivo de realizar trabalho (movimentação). Com este aumento de volume a pressão e a temperatura descem.

Processo 4-1: O vapor entra num condensador/permutador até passar ao estado líquido, diminuindo a sua temperatura e por consequência a sua entropia. De seguida este fluido motor retorna até a bomba e assim o ciclo repete-se.

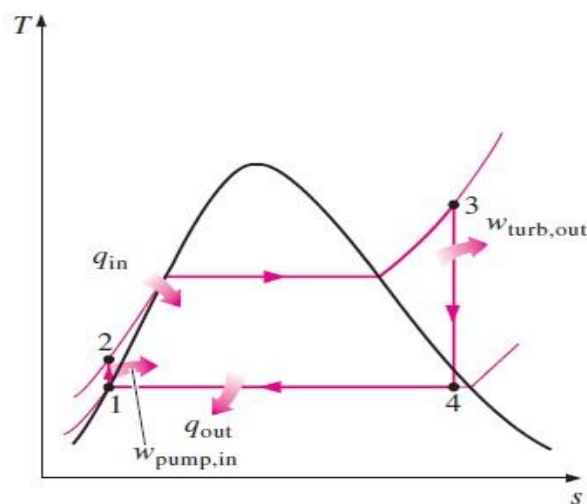


Figura 10 - Processos de um Ciclo Rankine (Temperatura/Entropia)

3.2. CÂMARA DE COMBUSTÃO

É no interior da câmara de combustão/fornalha que se dão as reações de combustão do combustível que alimenta a caldeira. Em que o comburente é o oxigénio do ar e o combustível é a biomassa [20].

A combustão é o processo onde existe mais evolução a nível tecnológico e é o processo onde existe uma viabilidade económica superior [21]. Assim para a combustão de combustíveis sólidos as principais tecnologias são, (ver Figura 11) [22]:

A) Sistema de grelhas

B) Leito fluidizado borbulhante

C) Leito fluidizado circulante

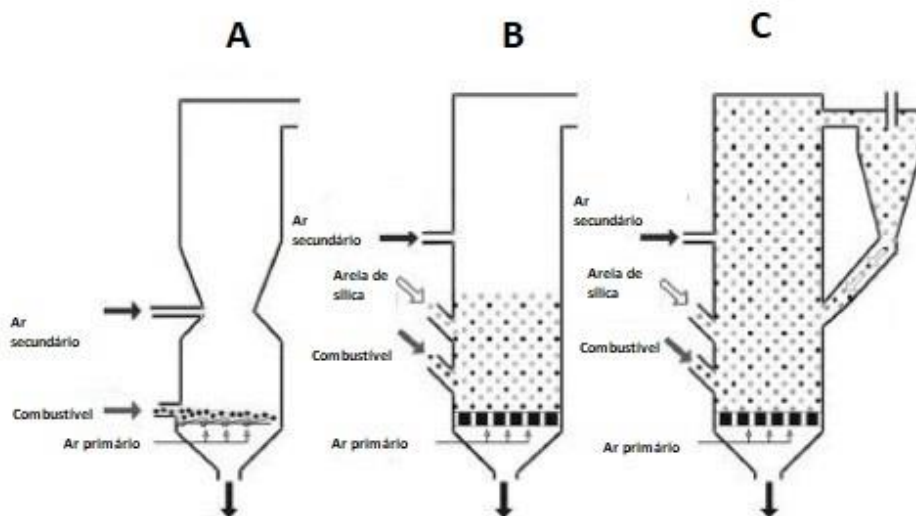


Figura 11 - Principais tecnologias de combustão de biomassa

A) Sistema de grelhas

Este sistema é constituído por um sistema de várias grelhas perfuradas dispostas numa maneira desceite. Estas grelhas são movéis para promover a movimentação do combustível com o objetivo de o distribuir uniformemente na área disponível de grelhas e também para permitir a entrada contínua de um novo combustível. O diâmetro da partícula de combustível terá que ser superior a 50 mm [22].

O ar para a combustão entra através dos orifícios disponíveis nas grelhas. Este é injetado através de um ventilador. É conhecido como “ar primário”. Existe também um segundo ventilador colocado numa posição mais elevada da câmara de combustão com o objetivo de promover a queima total de combustível e também para não permitir que o combustível seja conduzido para a caldeira. Este é conhecido como “ar secundário”.

B e C) Leito fluidizado

Este sistema é composto por uma câmara cilíndrica com uma placa no fundo perfurada e preenchida com um leito suspenso de material inerte. O material mais utilizado para este leito é a sílica. O ar de combustão (ar primário) entra pela parte inferior da fornalha através da placa de distribuição de ar e fluidiza o leito. Este processo permite que se utilize pouco excesso de ar. O combustível poderá ter um tamanho variável até 10 mm. A potência térmica no leito fluidizado circulante é superior ao leito fluidizado borbulhante uma vez que no leito circulante as partículas que não foram queimadas voltam novamente a câmara de combustão, enquanto que no leito borbulhante as partículas que não foram queimadas vão ser arrastadas pelos gases resultantes da combustão [22].

3.3. CALDEIRA

Uma caldeira é um equipamento térmico em que os gases provenientes da queima de um combustível (fornalha) cedem energia térmica a um fluido com o objetivo de o aquecer [20].

Existem em termos de disposição construtiva dois tipos de caldeiras. As caldeiras em que os gases quentes escoam no interior do feixe de tubos, tubos de fumo ou piro-tubulares, e as caldeiras em que os gases da combustão escoam pelo exterior dos tubos, tubos de água ou aquotubular, (ver Figura 12) [20]. Neste último caso no interior dos tubos circula o fluido a aquecer.

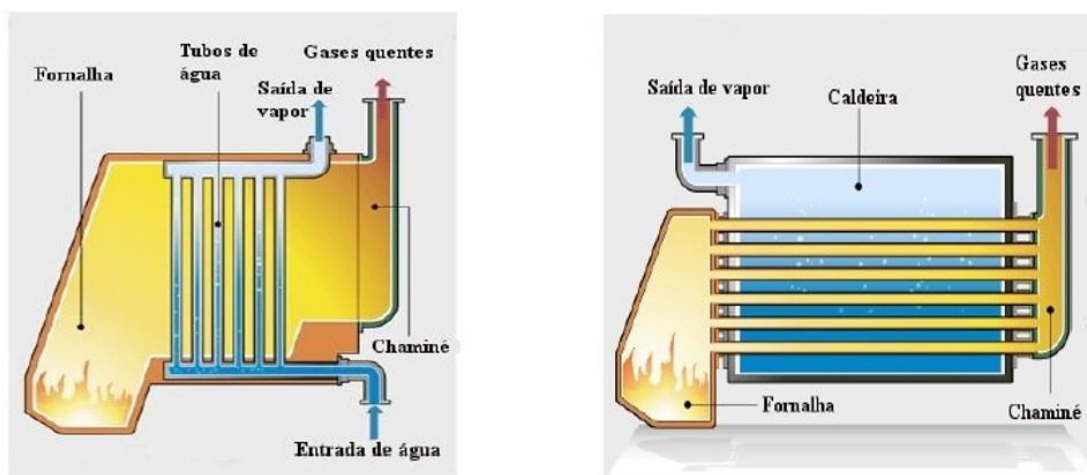


Figura 12 - A esquerda um esquema de uma caldeira aquotubular e a direita esquema de uma caldeira piro-tubular

Nas caldeiras piro-tubulares é possível obter temperaturas na ordem dos 900 a 950 °C à saída do tubo de fogo e a temperatura dos gases à saída da caldeira estará entre 180 e 260 °C. Relativamente à pressão admissível, estas caldeiras funcionam até valores de 32 barg e caudais de até 28t/h. Já no caso das caldeiras aquotubulares é possível obter na câmara de combustão gases entre 1000 e 1150 °C e a saída da mesma 450 °C. Em relação à pressão e caudal de produção de vapor máximos, estes só estão dependentes dos limites metalúrgicos dos materiais utilizados na sua construção [20].

No caso da construção piro-tubular é necessário utilizar um grande volume de água, o que se revela uma vantagem quando as oscilações de vapor são elevadas. Por outro lado, as caldeiras aquotubulares apresentam um menor volume de água o que significa uma menor capacidade de armazenamento de vapor, tornando-as mais irregulares. Em contrapartida

apresentam menores tempos de aquecimento e menores perdas térmicas, uma vez que armazenam um menor volume de água [20].

A classificação das caldeiras leva em consideração a pressão de serviço. Assim as caldeiras dizem-se de:

- Baixa pressão, se operarem até 0,5 barg
- Média pressão, se operarem entre os 0,5 barg e os 87 barg
- Alta pressão, se operarem acima dos 87 barg

3.4. SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DE ÁGUA

Relativamente à qualidade da água de alimentação da caldeira, esta não vai só afetar a caldeira (barrilete e tubagens), mas também o vapor produzido por ela que por sua vez vai afetar a turbina uma vez que o vapor poderá transportar pequenas quantidades de água que contêm sólidos dissolvidos na mesma concentração que a água da caldeira. Assim muitos fabricantes de turbinas e caldeiras especificam a condutividade máxima do vapor (condensado), pH e as concentrações máximas de sais dissolvidos para evitar deposições (que vão inibir a transferência de calor e a eficiência térmica), e corrosão [23].

Embora o vapor e água circulem num circuito fechado, existem perdas. Estas perdas podem ser, a nível de água, pelas purgas existentes na caldeira ou por vapor uma vez que o vapor a alta pressão produzido é utilizado para limpeza dos tubos da caldeira.

Algo frequente é a formação de espuma dentro do barrilete da caldeira o que provoca um aumento de partículas de água no vapor, devido ao arrastamento, e por consequência o transporte de impurezas no vapor. Esta espuma é formada devido ao excesso de sólidos dissolvidos na água (Ex: ferro, potássio, cobre e sílica), a alta alcalinidade da água e a presença de matéria orgânica (Ex: óleo). Assim para que seja possível evitar que esta espuma se forme, é necessário recorrer a uma purga continua a caldeira (ver Figura 13), [23].

É também comum a existência de uma purga no fundo dos barriletes das caldeiras, (ver Figura 13) [24], porque como existem sais dissolvidos na água, quando esta passa á fase de vapor a concentração desses sais na fase líquida, existente no interior da caldeira, irá aumentar com o tempo de funcionamento, o que vai aumentar a deposição e incrustações na caldeira. Para combater este inconveniente é necessário purgar periodicamente a caldeira. Esta purga é realizada pelo fundo da caldeira (periódica), permitindo a descarga de água com altos teores em sais [20].

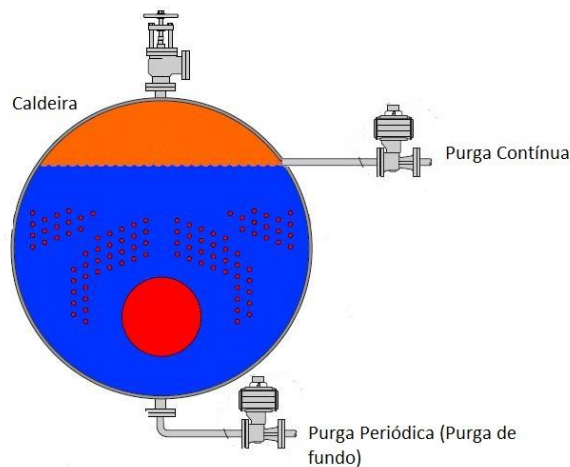


Figura 13 - Caldeira pirrotubular com purga contínua e periódica

No caso de existir transporte, pelo vapor, de um determinado sólido dissolvido na água em grande quantidade, só é possível reduzir o transporte alterando a composição química da água da caldeira.

Assim os parâmetros químicos da água de alimentação a serem controlados são [23]:

- Sólidos dissolvidos
- pH
- Oxigênio dissolvido (uma vez que facilita a oxidação do ferro e outros metais)
- Sólidos Suspensos
- Cloretos
- Óleo
- Sulfitos
- Alcalinidade

É necessário para manter um bom desempenho e integridade do sistema gerador de vapor assegurar a qualidade da água de alimentação através, no mínimo, de um sistema que permita produzir água desmineralizada e um sistema que permita a redução do oxigênio contido na mesma [23]:

Osmose inversa

É um processo no qual a água é desmineralizada, atravessando sob pressão uma membrana parcialmente permeável, isto é, a água passa de um meio mais concentrado (hipertônico) para um meio menos diluído (hipotônico), realizando o caminho inverso da osmose (ver Figura 14). Assim é necessário fornecer energia para que água consiga passar através da membrana. Para tal utiliza-se um ou mais grupos de bombas acionadas eletricamente. É assim possível diminuir a concentração de soluto presente na água [25] [26].



Figura 14 - Osmose vs Osmose Inversa

Segundo o estudo comparativo realizado entre a aplicação ou não do sistema de osmose inversa para produção de água tratada para a geração de vapor, (ver Tabela 1 e Tabela 2) [27], conclui-se que através da aplicação deste sistema foi possível redução no teor de sílica, da condutividade, dos cloretos, do ferro bem com da dureza da água [27]:

Tabela 1 - Sistema sem uso do sistema de osmose inversa

Parâmetro	Unidade	Mínimo	Máximo	Média
Sílica Solúvel	ppm	23,4	41,0	34,2
Condutividade	s/cm ²	93,0	243,0	194,7
Cloretos	ppm	6,0	11,0	7,6
Ferro Total	ppm	0,2	0,4	0,3
Dureza Total	ppm	0,0	90,0	6,4

Tabela 2 - Sistema com a aplicação do sistema de osmose inversa

Parâmetro	Unidade	Mínimo	Máximo	Média
Sílica Solúvel	ppm	0,0	0,5	0,3
Condutividade	s/cm ²	7,3	12,7	10,9
Cloretos	ppm	1,4	4,2	2,2
Ferro Total	ppm	0,0	0,1	0,0
Dureza Total	ppm	0,0	0,0	0,0

Relembrando que um alto teor de sílica provoca incrustações nos tubos da caldeira e poderá provocar depósitos nas pás das turbinas o que por sua vez vai provocar vibrações e o seu desgaste precoce. O ferro origina também depósitos na caldeira e em grandes quantidades pode inibir a transferência térmica. No caso dos cloretos, estes originam a formação de espuma, referida anteriormente, o que vai provocar deposição de sais nas pás da turbina bem como vai promover o transporte de água no vapor. Uma alta condutividade da água e uma alta dureza, derivado a presença de sais de cálcio e magnésio, irá também promover as incrustações na caldeira e seus tubos [28].

Desgasificador

Os desgasificadores são dispositivos mecânicos que permitem a remoção/diminuição de gases dissolvidos na água de alimentação das caldeiras. Entre os gases dissolvidos estão contemplados o oxigênio e o dióxido de carbono que provocam o efeito de corrosão nas caldeiras. É necessário obter um valor de 5 ppb (partes por milhão) ou inferior, destes dois elementos para evitar a corrosão na maioria das caldeiras [29].

Neste processo os gases são removidos devido ao pré-aquecimento da água, antes de entrar na caldeira. O vapor proveniente de uma saída a baixa pressão da caldeira é direcionado contra um “*spray*” de água de alimentação da caldeira com vista a aumentar a superfície de contacto entre o vapor e a água. O vapor retira assim o gás dissolvido na água que sai pela válvula de ventilação no topo dos desgasificador [29].

Este sistema é complementar ao sistema de osmose inversa, uma vez que a água que recebe é água desmineralizada (ver Figura 15) [30].

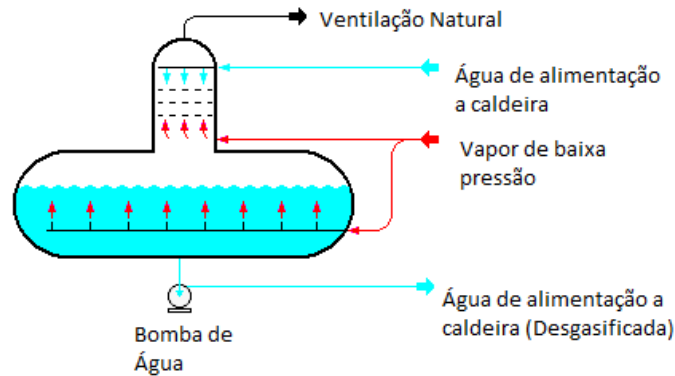


Figura 15 - Sistema de degaseificação

3.5. TURBINA A VAPOR

Uma turbina a vapor é uma máquina térmica que permite converter energia térmica contida no vapor em energia mecânica através da expansão do vapor a alta pressão. O princípio de funcionamento, como descrito anteriormente, é segundo o ciclo de *Rankine* [31].

Os dois tipos de turbinas mais amplamente usados em centrais de cogeração e centrais termoelétricas são as turbinas de contrapressão e turbinas de condensação [31]:

Contrapressão – Turbinas em que a pressão e temperatura à saída da turbina é relativamente alta com vista a este vapor ser utilizado em alguma parte do processo ou numa outra turbina. Este tipo de turbina tem a desvantagem que a potência elétrica passível de ser gerada fica condicionada ao consumo de vapor nos processos adjacentes (ver Figura 16).

Condensação – Turbinas em que a pressão à saída é baixa, inferior à pressão atmosférica. Neste tipo de turbinas é necessário existir um condensador. Esta construção favorece a geração termoelétrica, uma vez que deixa de ser condicionada pelo vapor utilizado pelo processo (ver Figura 16).

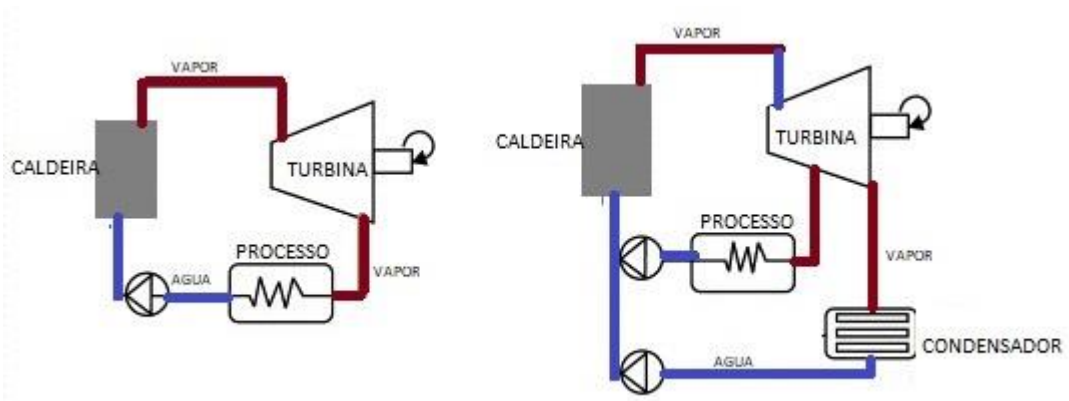


Figura 16 - Esquema de um sistema com uma turbina de condensação (esquerda) e uma turbina de contrapressão (Direita)

4. CASO DE ESTUDO

4.1. CARACTERIZAÇÃO DA CENTRAL TERMOELÉTRICA

O sistema gerador de vapor, constituído por duas caldeiras aquotubulares, tem a capacidade de produzir 14 MW, mas só pode exportar para a rede a RESP 10,6 MW, sendo remunerada em 110 euros por cada MWh exportado. Devido ao sistema estar sobredimensionado e o combustível nem sempre apresentar as mesmas características, existem momentos em que o caudal de vapor produzido é tal que a energia eléctrica exportada ultrapassa o limite definido. Para evitar que o limite da energia exportada seja ultrapassado a válvula de *bypass* tem que atuar.

O sistema de produção de água tratada bem como o triturador de biomassa, já se encontram contemplados nos consumos internos da instalação. Já o sistema aquecimento de biomassa através de um piso radiante, composto por uma bomba de circulação de água e um permutador, encontra-se instalado, mas nunca foi colocado em funcionamento uma vez que não se conhece a sua eficiência. Este sistema tem como objetivo reduzir o teor de humidade do combustível para que seja possível uma combustão mais eficiente dentro das câmaras de combustão da central.

Este trabalho tem como objetivo simular e desenvolver uma nova condição de funcionamento para estes equipamentos privilegiando o funcionamento destes nos

momentos em que a válvula de *bypass* está aberta devido a ter sido atingido o limite da energia exportada, com o objetivo de aumentar a energia exportada. Assim foi necessário reunir o máximo de dados possíveis relativos aos valores da instrumentação presente na central bem como de todos os equipamentos, considerando que a base de dados da instalação apenas armazena os dados dos últimos três meses.

Os dados das variáveis que foram obtidos têm como base temporal o minuto, e de acordo com Figura 17 foram:

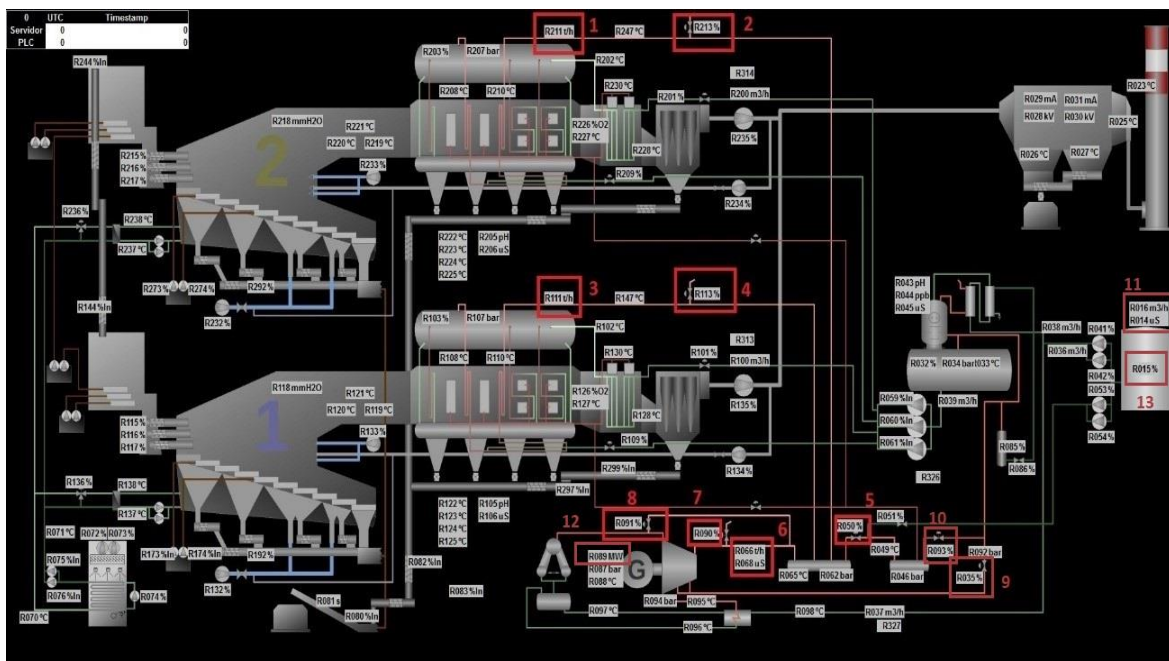


Figura 17 - Layout Central Termoelétrica

- 1 - Caudal de vapor a saída da caldeira 2 (t/h)
- 2 - Percentagem de abertura da válvula de débito mínimo da caldeira 2 (%)
- 3 - Caudal de vapor a saída da caldeira 1 (t/h)
- 4 - Percentagem de abertura da válvula de débito mínimo da caldeira 1 (%)
- 5 - Percentagem de abertura da válvula reguladora de pressão do coletor de baixa pressão (%)
- 6 - Caudal de vapor a entrada da turbina (t/h)
- 7 - Percentagem de abertura da válvula de aquecimento da tubagem da turbina (%)
- 8 - Percentagem de abertura da válvula de *bypass* (%)
- 9 - Percentagem de abertura da válvula de baixa pressão na saída da turbina (%)
- 10 - Percentagem de abertura da válvula reguladora de pressão do desgasificador (%)

11 - Caudal de água tratada produzida (m^3/h)

12 - Potência ativa exportada (MW)

13 - Nível do tanque de água tratada (%)

No número 12 da Figura 17, embora exista registo da potência ativa no gerador, o que está representado é o valor da potência ativa exportada. No caso do triturador, embora se encontre presente na instalação, não está representado no *layout* do sistema gerador de vapor, Figura 17, como outros demais equipamentos existentes. Os dados do seu funcionamento ficam apenas guardados em base de dados.

4.2. FUNCIONAMENTO ATUAL DA INSTALAÇÃO

Com o objetivo interpretar o atual funcionamento da instalação, e comparar com os resultados da nova ideologia de funcionamento, que irá ser idealizado neste trabalho, foi necessário analisar os dados obtidos relativamente ao funcionamento da instalação.

4.2.1. ENERGIA EXPORTADA

Nos gráficos seguintes, (ver Figura 18, 19 e 20) é possível verificar a variação da potência ativa, kW, disponibilizada a rede elétrica nos meses de outubro, novembro e dezembro de 2020.

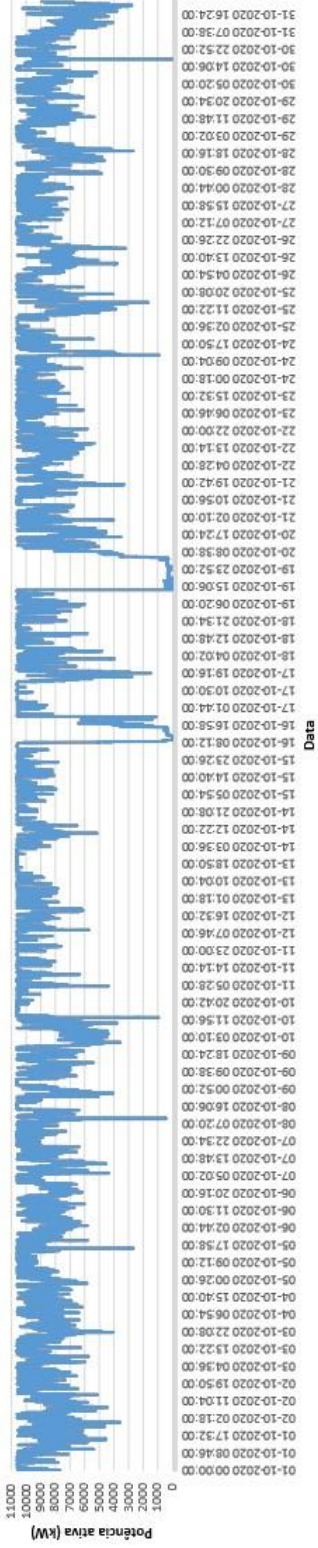


Figura 18 – Potência ativa exportada em outubro (situação atual)

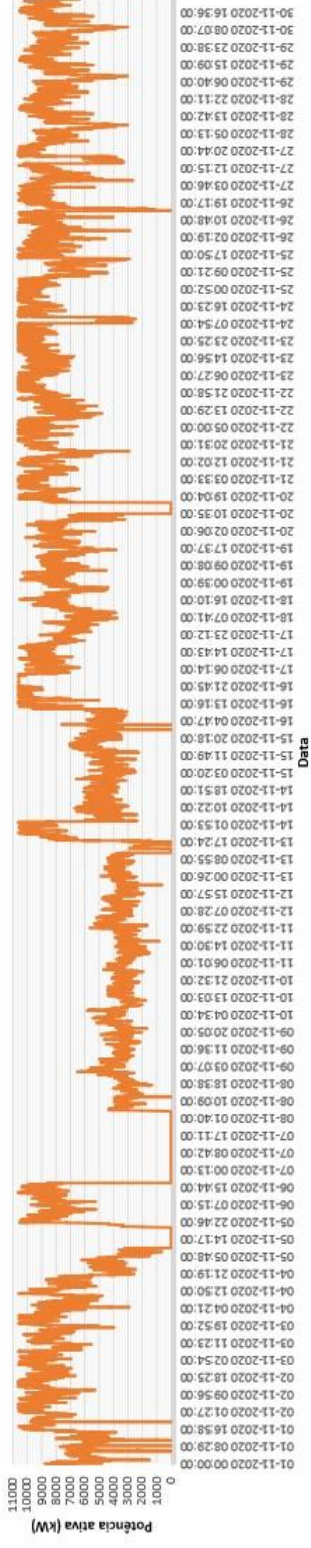


Figura 19 - Potência ativa exportada em novembro (situação atual)

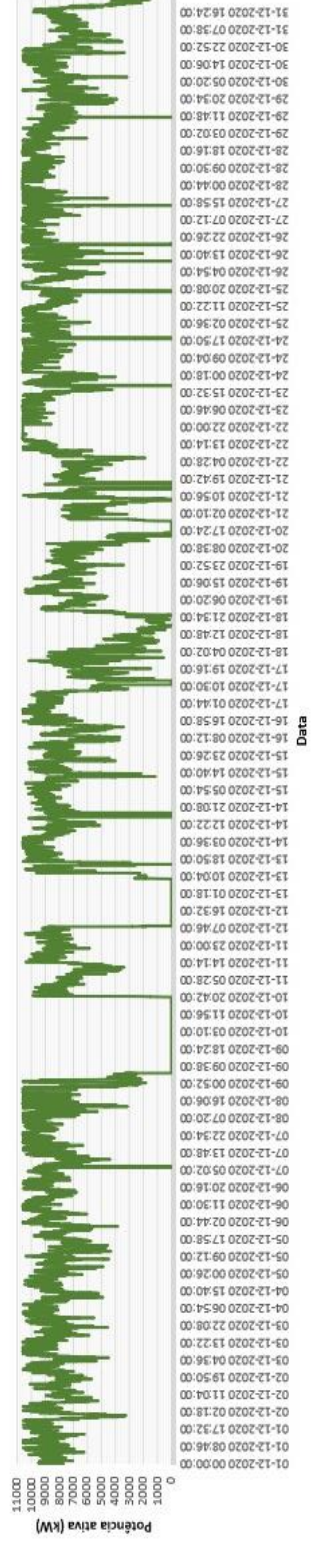


Figura 20 - Potência ativa exportada em dezembro (situação atual)

O mês de outubro, (ver Figura 18), foi aquele que mais se aproximou de um funcionamento “esperado” da instalação uma vez que o objetivo é exportar continuamente 10.6 MWh. Em determinados momentos a energia exportada diminuiu drasticamente devido a problemas na instalação, mais propriamente no veio da turbina que como consequência provoca vibrações na mesma. Embora a potência exportada tenha diminuído drasticamente e por vezes tenha sido nula, o sistema gerador de vapor não interrompeu o seu funcionamento, visto que nestes casos o vapor produzido é direcionado para a válvula de *bypass* ou para as válvulas de débito mínimo e se estas não atuarem é direcionado para as válvulas de segurança, mecânicas, presentes nos barriletes.

Nos meses de novembro e dezembro, (ver Figura 19 e Figura 20), para além do problema referido no mês de outubro, existiram problemas relativos ao mau funcionamento das grelhas móveis das câmaras de combustão, que provocaram flutuações de potência o que levou a uma diminuição de energia elétrica, vendida a RESP, como é possível verificar no gráfico seguinte, (ver Figura 21):

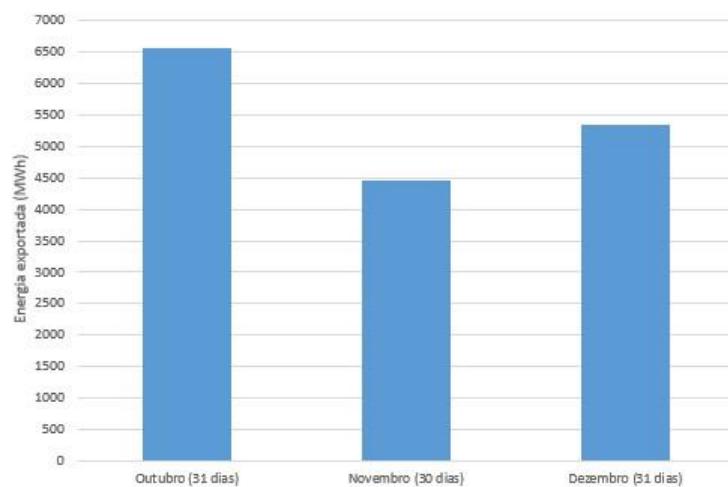


Figura 21 – Energia exportada para a rede em outubro, novembro e dezembro (situação atual)

No mês de outubro a central exportou 6565 MWh faturando 722150 euros, em novembro exportou 4453 MWh e faturou 489830 euros e no mês de dezembro exportou 5338 MWh e faturou 587180 euros. Idealmente para um mês de 31 e 30 dias seria espectável exportar 7886 e 7632 MWh respetivamente.

Devido aos problemas existentes nestes meses, e que se acentuaram nos meses de novembro e dezembro, a instalação nos meses seguintes foi obrigada a parar com o objetivo de resolver os problemas existentes.

4.2.2. VÁLVULA DE BYPASS

Foi também necessário analisar os dados referentes a válvula de *bypass*, mais concretamente a variação da sua abertura, ao longo dos três meses, uma vez que sempre que é atuada significa que será “desperdiçada” energia que poderia ser convertida pelo grupo turbogerador. Nos gráficos seguintes é possível verificar a variação da abertura da válvula ao longo dos três meses.

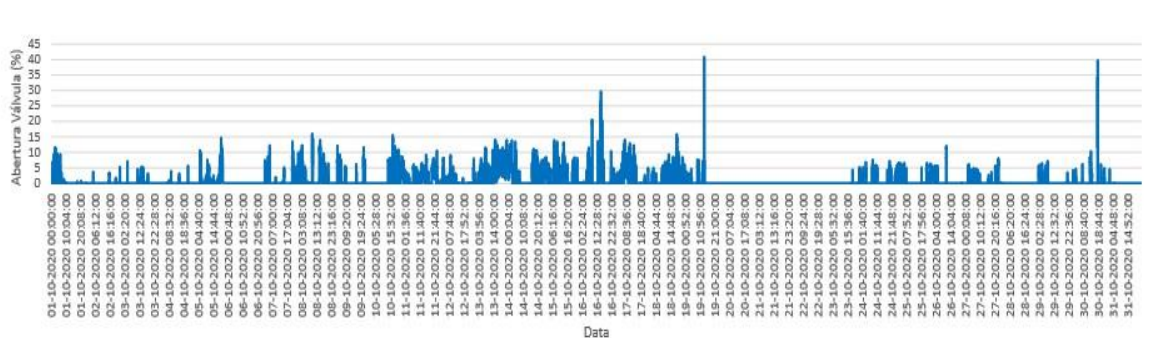


Figura 22 - Variação da percentagem de abertura da válvula de bypass no mês de outubro (situação atual)

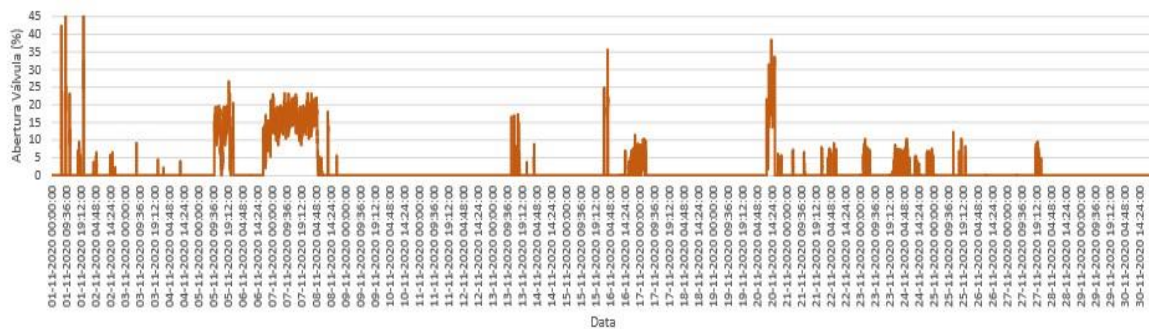


Figura 23 - Variação da percentagem de abertura da válvula de bypass no mês de novembro (situação atual)

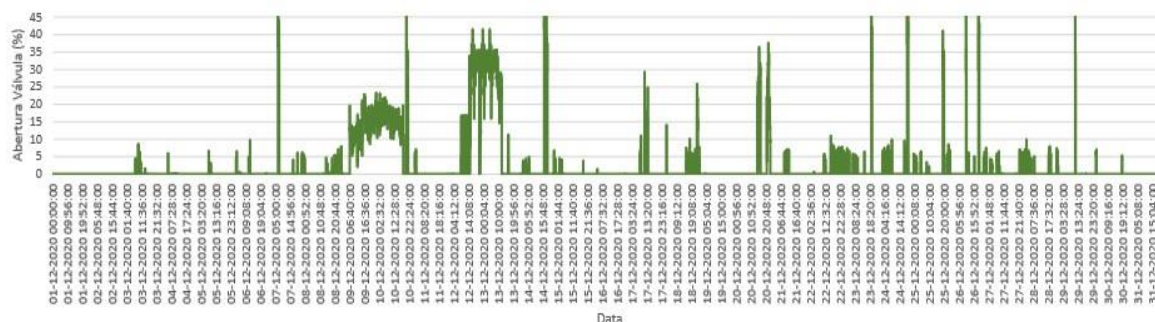


Figura 24 - Variação da porcentagem de abertura da válvula de bypass no mês de dezembro (situação atual)

Comparando os gráficos referentes a potência ativa exportada, (ver Figura 18, 19 e 20) , com os gráficos relativos a variação da abertura da válvula de *bypass*, (ver Figura 22, 23 e 24), é possível verificar que existem momentos, quando a energia exportada tem valores nulos, a válvula de *bypass* abre, uma vez que as caldeiras continuam em funcionamento, como referido anteriormente. Também é possível analisar que por vezes a válvula de *bypass* abre sem que seja atingido o limite máximo de potência exportada, tal deve-se ao facto de o operador, erradamente, alterar o modo de funcionamento da turbina, colocando esta a funcionar por “controlo de potência” ao invés de “controlo por pressão”. No primeiro modo de funcionamento é limitada a potência possível de ser gerada aos terminais do gerador e se ultrapassada é acionada a válvula de *bypass*. No segundo caso é imposto um valor de pressão de funcionamento do sistema, 61 bar, e a válvula de regulação da turbina irá regular a pressão gerada pelo sistema gerador de vapor permitindo o sistema gerador de vapor trabalhar numa forma mais controlada. Em ambos os métodos de controlo, sempre que ultrapassado o limite máximo imposto pela rede, a válvula de *bypass* irá atuar.

No gráfico seguinte, Figura 25, relativo a variação da porcentagem de abertura da válvula de *bypass*, (ver Figura 22, 23 e 24), é possível verificar no total de cada mês o equivalente horário de abertura da válvula de *bypass*.

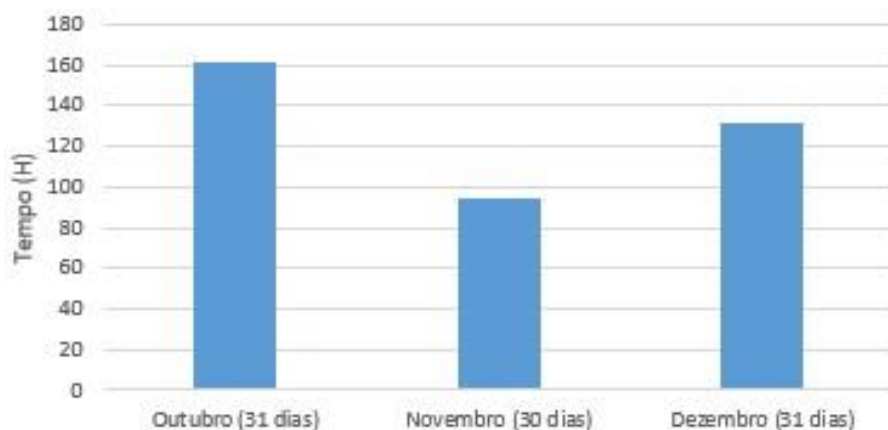


Figura 25 – Total de horas em que a abertura da válvula de bypass maior que 0%

No mês de outubro a válvula de *bypass* encontrou-se 161 horas com abertura superior a 0 % sendo que 130 horas corresponderam ao facto de ter sido atingido o limite de potência a ser exportada. Nos meses de novembro e dezembro encontrou-se no total de 94 e 130 horas, respetivamente, das quais 24 e 30 horas corresponderam ao facto de ter sido atingido o limite de potência a ser exportada.

No mês de outubro as 130 horas corresponderam a uma média de percentagem de abertura de cerca de 4.1 %, já nos meses de novembro e dezembro as 24 e 30 horas, corresponderam a uma média de percentagem de abertura de cerca de 3.1 e 2.6 %.

4.2.3. ANÁLISE DE INEFICIÊNCIAS

Através da análise dos dados obtidos foi possível verificar que nos meses de outubro, novembro e dezembro o tempo total de funcionamento do sistema de tratamento de água coincidiu em 17.2, 3.4 e 4.6%, respetivamente, com a abertura da válvula de *bypass* devido a ter sido atingido o limite imposto de exportação, o que correspondeu a um aproveitamento de 1.41, 0.27 e 0.38 MWh, respetivamente, no final de cada mês. No caso do triturador, o tempo total de funcionamento do mesmo, nos meses de outubro, novembro e dezembro, coincidiu em 17.6, 3.7 e 4.1 % com a abertura da válvula de *bypass* devido a ter sido atingido o limite imposto de exportação, o que correspondeu a um aproveitamento de 875, 180 e 202 kWh, respetivamente, no fim de cada mês.

Com base nos dados obtidos é possível afirmar que nos meses de outubro, novembro e dezembro foram “desperdiçados”, 62.6, 9.2 e 8.9 MWh, respetivamente, devido a abertura da válvula de *bypass* por ter sido atingido o limite imposto de exportação. A energia

“desperdiçada” corresponde a um equivalente em euros de 6886, 1012 e 979 respetivamente, (ver Tabela 3).

Tabela 3 – Energia não aproveitada devido a abertura válvula de bypass quando atingido o limite máximo de injeção na rede

	Outubro	Novembro	Dezembro
Energia não aproveitada devido a abertura da válvula de <i>bypass</i> (MWh)	62.6	9.2	8.9
Possível aumento no valor da faturação (€)	6886	1012	979

4.3. MEDIDAS DE MELHORIA

Uma vez que o objetivo deste trabalho se depara com o facto de existir energia desperdiçada sob a forma de vapor devido a abertura da válvula de bypass quando atingido o limite máximo imposto da potência exportada, foi necessário determinar as equações aproximadas que relacionam o caudal de vapor desperdiçado pela válvula de *bypass* em função da sua percentagem de abertura e relacionar o caudal desse vapor desperdiçado com a potência elétrica que seria entregue à rede se este fosse direcionado para a turbina. Juntamente foi necessário analisar o funcionamento dos 3 sistemas em estudo com o objetivo de avaliar e otimizar o seu funcionamento.

4.3.1. ATUAÇÃO NA VÁLVULA DE BYPASS

Na central em estudo, (ver Figura 26), existe um caudalímetro à saída de cada barrilete, equipamento (1) e (3), e um na entrada da turbina, equipamento (6), sendo que o vapor proveniente dos dois barriletes é agrupado no coletor denominado de “alta pressão”, equipamento (11), antes de ser direcionado para a turbina, equipamento (13). Neste coletor para além da saída para a turbina existe uma saída para os sistemas auxiliares, denominado coletor de “média pressão”, equipamento (12), controlado por uma válvula de controlo, equipamento (5) que permite regular, diminuir, a pressão de vapor.

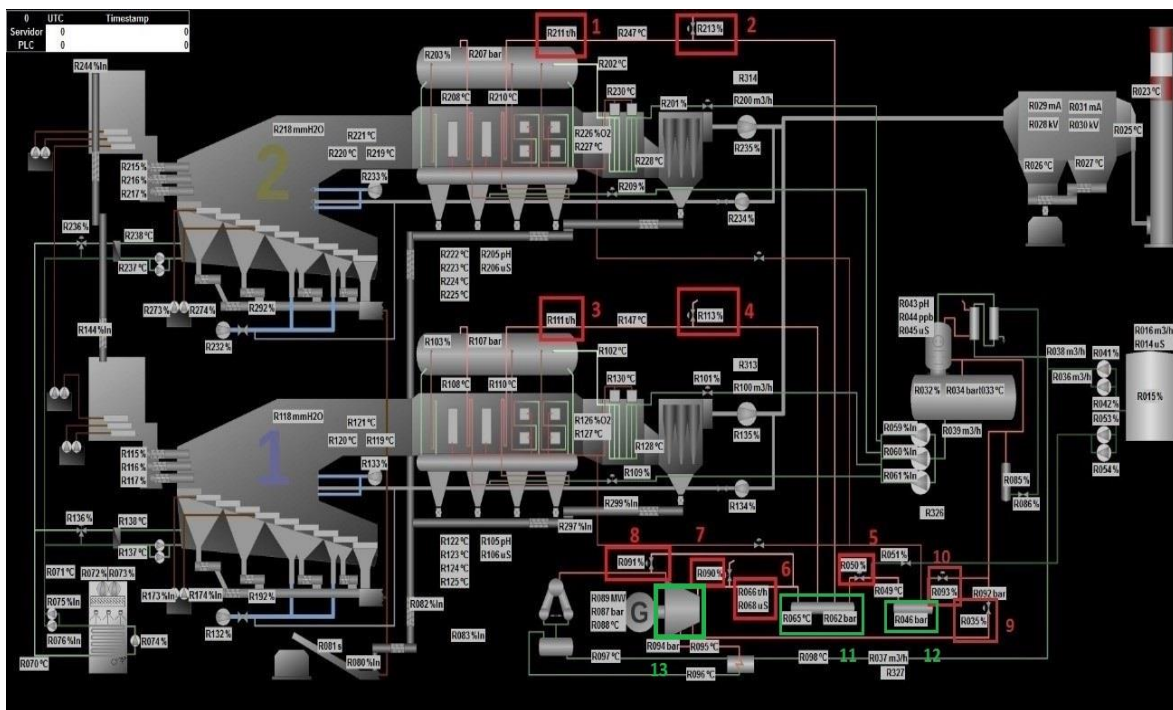


Figura 26 – Layout 2 central termoelétrica

Na saída de vapor de cada barrilete existe uma válvula de controlo conhecida como válvula de débito mínimo, equipamento (2) e (4), que tem o objetivo de permitir que exista sempre caudal de vapor nos tubos do sobreaquecedor, para que estes se mantenham com uma temperatura controlada, uma vez que são estes os primeiros tubos que estão em contacto com a câmara de combustão. A válvula de controlo, equipamento (7), válvula de aquecimento da tubagem até à turbina, permite que a tubagem seja aquecida de forma controlada permitindo também evitar condensações na tubagem.

A válvula de controlo, de vapor a baixa pressão, na saída da turbina, equipamento (9), permite regular a pressão do vapor necessário no desgasificador para o processo de degaseificação. Esta não é utilizada uma vez que o vapor necessário provém de uma saída do coletor de “média pressão”, sendo a pressão regulada através da válvula a saída do mesmo, equipamento (10).

Visto que a válvula de *bypass*, equipamento (8), está entre a saída do coletor de “alta pressão”, equipamento (11), e o caudalímetro de vapor, equipamento (6), foi necessário garantir que os momentos a serem analisados considerassem que a válvula reguladora de pressão, equipamento (5), as válvulas de débito mínimo das caldeiras, equipamento (2) e (4), e a válvula de aquecimento da tubagem da turbina, equipamento (7), estivessem fechadas e a válvula de *bypass* aberta, equipamento (8).

De todos os dados recolhidos durante os três meses, foram filtrados aqueles que reuniam as condições descritas no parágrafo anterior, respeitando condições de temperatura e pressão semelhantes. De acordo com a explicação relativa sobre o processo bem como as considerações do parágrafo anterior, é possível concluir que se ao caudal total produzido pelo sistema gerador de vapor, equipamento (1) e (3), for subtraído o vapor que está a realizar trabalho, equipamento (6), nos momentos em que a válvula de *bypass* está aberta, equipamento (8), é possível saber qual o caudal de vapor que está a circular através da válvula de *bypass*, e posteriormente relacioná-lo com a percentagem de abertura da válvula. Foi considerado também, uma vez que o sistema gerador de vapor tem a capacidade de produzir 50 t/h de vapor, que a válvula de *bypass* tem que ter capacidade de permitir a passagem desse caudal no caso de algum problema. Assim no limite, 100% de abertura tem que permitir a passagem desse mesmo caudal.

Garantidas todas as condicionantes referidas foi possível determinar a seguinte linha de tendência polinomial de terceiro grau. Foi escolhido este tipo de tendência uma vez que o coeficiente de determinação R^2 era o que mais se aproximava do valor unitário.

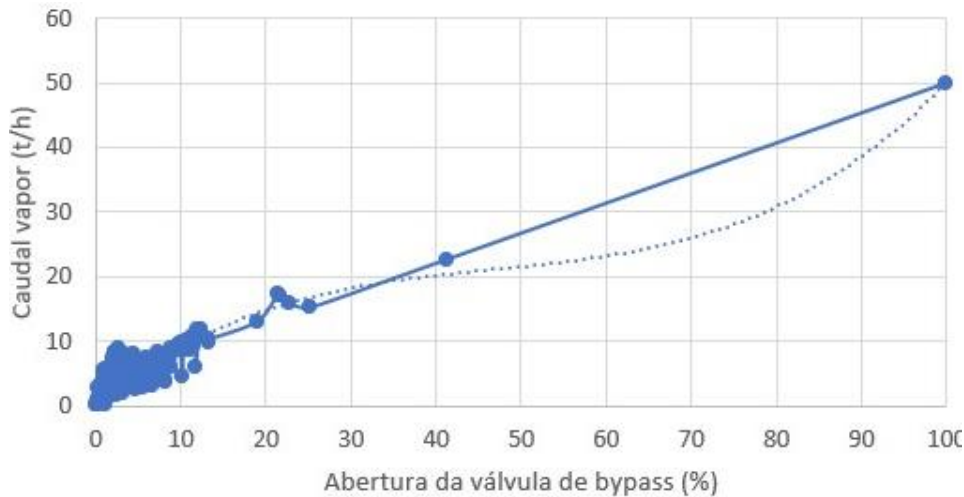


Figura 27 – Relação entre percentagem de abertura válvula de bypass e o caudal de vapor

Foi possível concluir que a equação, (1) que melhor se aproxima da relação entre a percentagem de abertura da válvula de *bypass*, x , com o caudal de vapor, x , é:

$$y = 0.0002x^3 - 0.0211x^2 + 1.0975x . \quad (1)$$

4.3.2. CAUDAL TURBINADO VERSUS POTÊNCIA

O processo de determinação da potência ativa gerada em função do caudal de vapor que aciona a turbina é menos complexo que o realizado anteriormente. Neste caso existe um caudalímetro na linha de vapor a entrada da turbina, equipamento (6), (ver Figura 26), existindo assim uma só contingência que é o facto de entre a turbina e o caudalímetro existir a válvula de aquecimento da tubagem da turbina, equipamento (7), (ver Figura 26), que se não estiver fechada, liberta vapor para a atmosfera.

Para determinar esta relação foram considerados os dados relativos ao contador de vapor a entrada da turbina e a potência ativa gerada, MW, nos momentos em que a válvula de aquecimento se encontrava fechada, permitindo obter o seguinte gráfico:

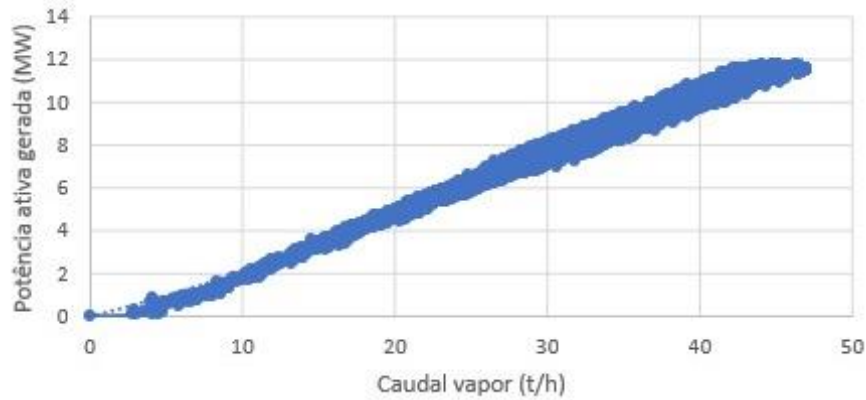


Figura 28 – Relação entre o caudal de vapor turbinado e a potencia ativa gerada

Foi possível assim determinar a linha de tendência polinomial de terceiro grau, com um coeficiente de determinação muito próximo da unidade, resultando na seguinte equação:

$$y = -0.0005x^3 + 0.004x^2 + 1.747x . \quad (2)$$

Na expressão, "x" representa o caudal de vapor em toneladas por hora e "y" a potência ativa em Megawatts.

4.3.3. PRODUÇÃO DE ÁGUA TRATADA

O sistema de produção de água tratada, com a potência elétrica de 40.5 kW, é constituído por filtros, descalcificadores, sistemas doseadores de produto químico, bombas de circulação, um sistema de osmose inversa e um tanque de armazenamento da água tratada.

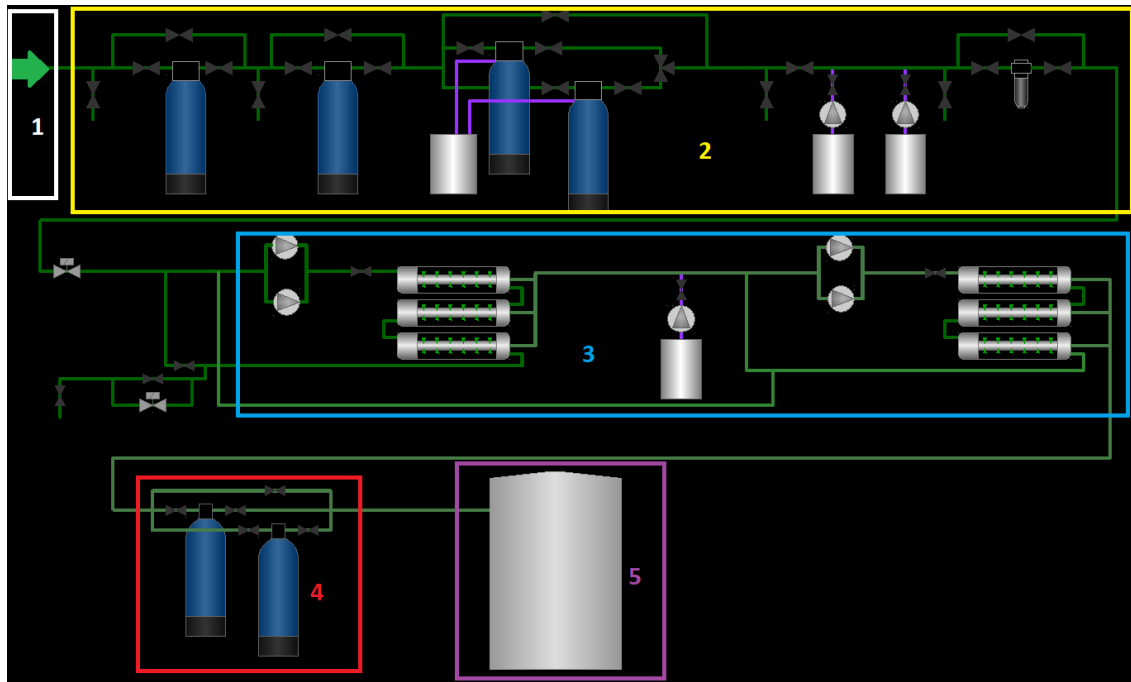


Figura 29 - Layout do sistema de produção de água tratada

De acordo com a Figura 29 a água que necessita de ser tratada é proveniente de uma captação local e é encaminhada até ao sistema de tratamento, área (1). Na primeira etapa do tratamento a água é filtrada e doseada com produtos químicos, área (2). Na segunda etapa o fluído atravessa o sistema de osmose inversa, área (3), constituído por quatro bombas de circulação e dois sistemas de membranas, sendo novamente filtrada, área (4), antes de ser armazenada no tanque de água tratada com capacidade para $16 m^3$, área (5).

O sistema está atualmente programado para um funcionamento entre os 80 e os 100 %, isto é, sempre que o tanque de água tratada atinge um nível inferior a 80 %, o sistema é acionado até que o nível do tanque atinga os 100 %. Uma característica do sistema, obrigatória, é o facto que sempre que seja acionado, funcionar um tempo mínimo de 10 minutos devido a quantidade de água rejeitada pelo sistema de osmose inversa.

O caudal de água produzido pelo sistema é de $0.05 m^3$ por minuto, equivalente a um aumento de 0.3125 % por minuto do nível do tanque de água tratada, não considerando o consumo de água contínuo por parte da instalação, (ver Tabela 4).

No gráfico seguinte, (ver Figura 30) é possível verificar a variação do nível de água no tanque no decorrer do mês de outubro que é semelhante a variação decorrida nos meses em estudo neste trabalho.

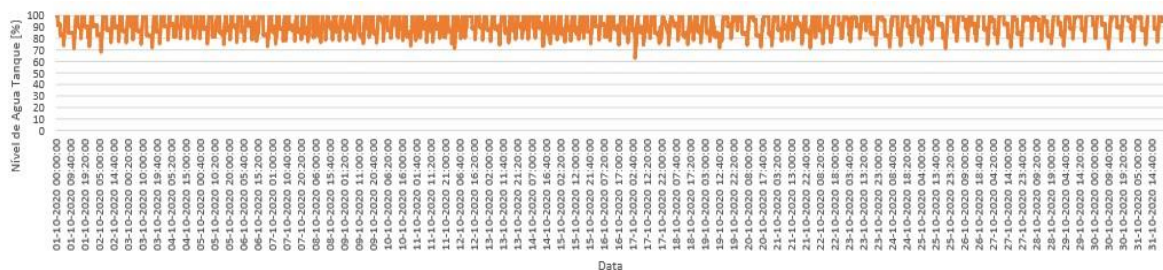


Figura 30 – Variação do nível de água no tanque de água tratada no mês de outubro

Como já foi referido nos meses em análise o sistema de tratamento de água não parou de funcionar, mesmo nos momentos em que não existiu exportação de energia, porque o sistema gerador de vapor continuou em funcionamento, e como consequência foi necessário continuar a realizar limpeza com vapor ao interior das caldeiras e as válvulas de purga continua continuaram em funcionamento.

É possível visualizar no gráfico anterior que, por vezes, o nível é inferior a 80%, isto deve-se ao facto de ser utilizado um transmissor de nível tipo radar que é afetado pelas oscilações do nível da água.

Para realização da simulação foi necessário aferir o consumo médio de água inerente ao funcionamento da central. Foram identificados os momentos em que o tratamento de água não se encontrava em funcionamento para que fosse possível verificar qual o decréscimo do nível de água tratada no tanque.

Com a análise destes dados foi possível concluir que o tanque sofre um decréscimo de nível de 0.06025 % por minuto desde que a produção de água não se encontre a funcionar. Visto que o tanque tem de capacidade 16 m³, e os 100 % de nível correspondem a esse valor, foi possível determinar que existe um decréscimo de 0.0096 m³ por minuto, (ver Tabela 4).

Tabela 4 – Resumo do funcionamento atual do sistema de tratamento de água

	Potência elétrica (kW)	Caudal (m ³ /min.)	Lógica de Funcionamento	Variação nível tanque água tratada (%)
Sistema de produção de água tratada (Em funcionamento)	40,5	0,05	80% aos 100%	0,25225 (0,3125-0,06025)
Sistema de produção de água tratada (Desligado)	0	0	100% aos 80%	-0,06025

4.3.4. TRITURADOR

Através dos dados recolhidos foi possível concluir que, nos meses em análise, o sistema de destroçamento de biomassa, com uma potência elétrica de 40.2 kW, atualmente funciona 5 minutos a cada 25 minutos. O mesmo já se encontra contemplado nos consumos internos da instalação. Na Figura 31 é possível verificar graficamente a variação do estado de funcionamento do equipamento em análise que é igual ao dos restantes meses. Uma vez que o seu funcionamento se repete ao longo do tempo a base temporal da Figura 31 é mais reduzida para que visualmente seja possível analisar a variação do estado de funcionamento.

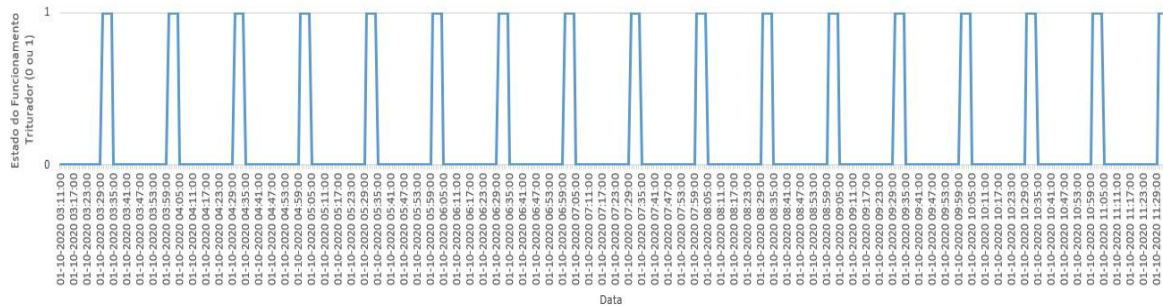


Figura 31 – Variação do estado de funcionamento do triturador no mês de outubro (Situação atual)

Como referido no sistema de produção de água tratada, não foi interrompido o funcionamento deste equipamento no decorrer dos meses em análise, visto que o sistema gerador de vapor nunca parou de funcionar, e por isso foi necessário continuar a obter material triturado.

4.3.5. SISTEMA DE AQUECIMENTO DE BIOMASSA

Como já mencionado, o sistema de aquecimento de biomassa, com uma potência elétrica de 8.2 kW, já se encontra instalado, mas nunca foi utilizado.

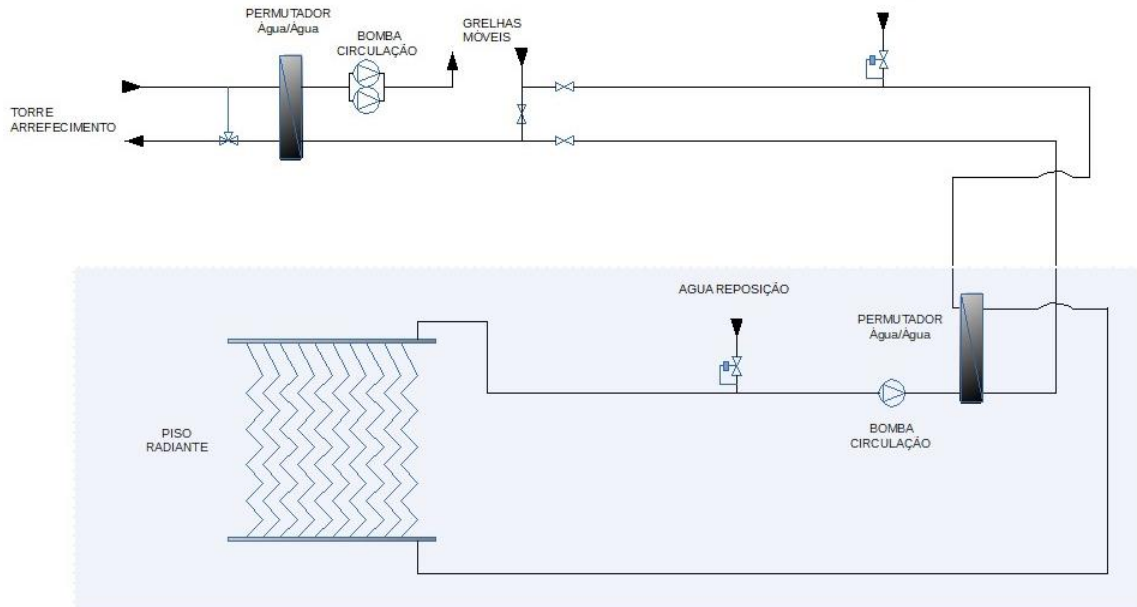


Figura 32 – Layout sistema de aquecimento de biomassa

Este sistema, (ver Figura 32), é composto por uma bomba de circulação de água, um permutador, água/água e um piso composto por tubos, piso radiante, área sombreada da Figura 32. A água quente é proveniente da água utilizada para o arrefecimento das grelhas móveis das câmaras de combustão. Como não é conhecida a eficiência deste sistema, existe ainda uma torre de arrefecimento, constituída por dois ventiladores, que tem como objetivo arrefecer a água necessária para arrefecimento das grelhas.

A existência de dois permutadores permite isolar os sistemas em caso de fuga. Sendo os circuitos fechados existe necessidade, em caso de fuga, de reposição de água.

4.4. FERRAMENTA UTILIZADA

A automatização da central em estudo encontra-se realizada no software *TIA PORTAL* da *Siemens*, (ver Figura 33), o que permitiu ao autor analisar a base de dados relativa as várias variáveis do processo, descritas no subcapítulo 4.1. Visto que lógica de funcionamento dos equipamentos, alvo de estudo, descritos nos subcapítulos 4.3.3 e 4.3.4, é parte integrante da automatização de central, a alteração da sua lógica de funcionamento, bem como a implementação no novo sistema descrito no subcapítulo 4.3.5, será realizada com recurso ao mesmo software.

A nova lógica de funcionamento será apresentada no subcapítulo 5.3 deste trabalho, com recurso a este software.

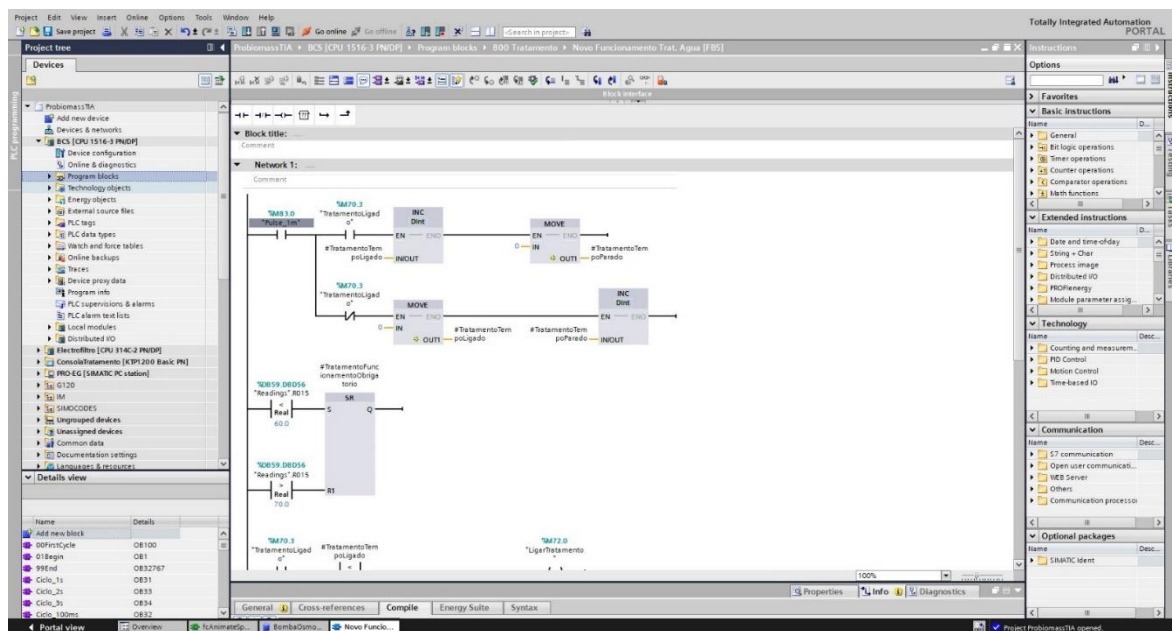


Figura 33 – Visão geral TIA PORTAL

Através deste software é possível desenvolver e comissionar sistemas de automação de forma rápida e mais intuitiva, uma vez que na mesma plataforma permite integrar vários softwares de programação como o software das consolas, *human-machine interface*, (HMI) e dos variadores de frequência.

Diagrama de Blocos de Funções - Function block diagram (FBD) – permite a programação de forma gráfica através de blocos existentes, ou feitos pelo utilizador, (ver Figura 35). Sendo possível otimizar a programação uma vez que sendo criado um bloco com as funções pretendidas este poderá ser utilizado repetidamente. É possível encontrar blocos na base de dados do programa como: *AND, OR, XOR, SR (set/reset), ADD, TON, SUB*.

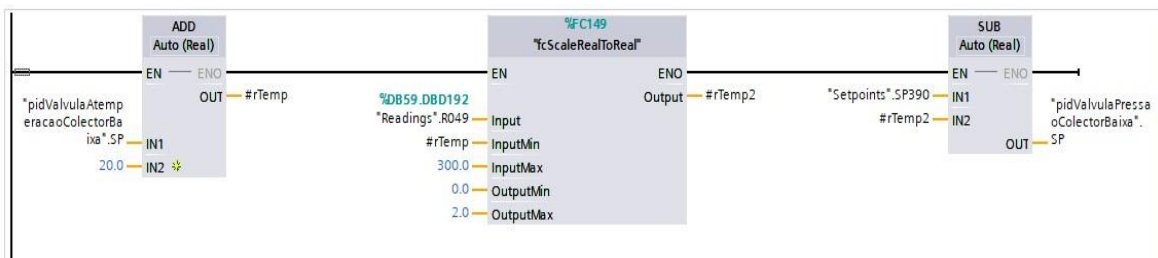


Figura 35- Exemplo Linguagem Function block diagram (FBD)

Linguagem de controlo estruturada- Structured Control Language (SCL) - é uma linguagem de programação baseada em *PASCAL*, (ver Figura 36) sendo otimizada para tarefas matemáticas complexas permitindo também simplificar programas elaborados em *LAD* ou *FBD*.

```

1 //INTEIRO PARA REAL
2 #InputMinReal := INT_TO_REAL(#InputMin);
3 #InputMaxReal := INT_TO_REAL(#InputMax);
4 #InputScale := #InputMaxReal - #InputMinReal;
5 #InputReal := INT_TO_REAL(#Input);
6 #ToleranceReal := #InputScale * 0.05;
7 IF #InputScale = 0.0 THEN
8   #Fault := true;
9   #Output := #OutputMin;
10 ELSE
11   IF #InputReal > (#InputMaxReal + #ToleranceReal) THEN
12     #Fault := true;
13     #Output := #OutputMax;
14   ELSIF #InputReal < (#InputMinReal - #ToleranceReal) THEN
15     #Fault := true;
16     #Output := #OutputMin;
17   ELSE
18     #Output := LIMIT(MN := #OutputMin, IN := (#InputReal - #InputMinReal) / #InputScale * (#OutputMax - #OutputMin) + #OutputMin, MX := #OutputMax);
19   END_IF;
20 END_IF;
21

```

Figura 36 - Exemplo Linguagem Structured Control Language (SCL)

4.4.2. BLOCOS DE ORGANIZAÇÃO

Uma correta estruturação de um programa permite mais facilmente a detecção de erros e a sua respetiva solução, sendo que para isso este software está estruturado em três tipos de unidades de programação, (ver Figura 37) [32]:

Bloco de Organização - Organization Block (OB) – estes blocos formam a interface entre o sistema operativo do PLC e o programa que irá ser criado pelo programador. Deve existir pelo menos um *OB* no programa uma vez que neste bloco são “chamadas” de forma sequencial as sub-rotinas criadas em blocos *FC* ou em blocos *FB*. O bloco geralmente utilizado para inicialização é o “*OB1*”.

Função – Function (FC) – são blocos de código sem memória, isto é, em diferentes ciclos do programa para os mesmos valores de *inputs*, fornecem sempre os mesmos valores de *outputs*, uma vez que não tem acesso aos valores obtidos nos ciclos anteriores. Existe ainda a possibilidade de disponibilizar os valores obtidos num bloco de dados global, *Data Block (DB)*.

Bloco de Função – Function Block (FB) – ao contrário do bloco *FC*, este bloco tem armazenamento de memória, isto é, de ciclo para ciclo os valores das suas variáveis são armazenadas. As variáveis guardadas são armazenadas num bloco de dados local, *Data Block (DB)*, criado automaticamente quando é criado este bloco. Na estrutura deste bloco, *FB*, é ainda possível integrar os blocos de função, *FC*.

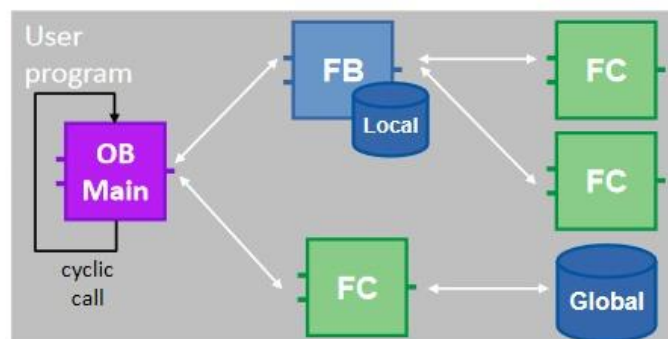


Figura 37- Estrutura de programação TIA PORTAL

5. METODOLOGIA DE OTIMIZAÇÃO DA OPERAÇÃO

5.1. MEDIDAS PROPOSTAS

5.1.1. SISTEMA DE PRODUÇÃO DE ÁGUA TRATADA

Devido ao facto de o autor ter acompanhado diariamente a instalação, foi possível concluir que o funcionamento atual, do sistema de produção de água tratada, não seria o mais adequado para que fosse possível retirar partido da energia desperdiçada pela válvula de *bypass*.

Com vista a colmatar esta lacuna do sistema, tema que deu origem este trabalho, o autor considerou uma nova metodologia de funcionamento para este equipamento, (ver Figura 38). Tendo em consideração que o nível de água tratada no tanque não poderá ser inferior a 60 %. Este limite mínimo é imposto pelo fornecedor das caldeiras, porque assim é possível assegurar a paragem em segurança do sistema gerador de vapor em caso de problemas com o sistema de produção de água tratada e com o sistema de condensação de vapor.

De acordo com nova lógica o funcionamento do sistema seria obrigatório entre os 60 % e os 70 %, isto é, se o nível de água no tanque for inferior a 60 %, o mesmo terá de permanecer em funcionamento até atingir 70 % de nível independentemente da abertura da válvula de *bypass* devido a ter sido atingido o limite máximo de injeção. Como explicado anteriormente se o tratamento tem uma capacidade de produção de $0.05 \text{ m}^3/\text{min}$ e o tanque sofre um déficit, no nível, constante de $0.0096 \text{ m}^3/\text{min}$, por minuto serão debitados para o tanque, desde que em funcionamento o sistema de tratamento, um total de 0.0403 m^3 . O que representa um aumento do nível por minuto de 0.252 %. Como no mínimo o tratamento tem que funcionar 10 minutos, então segundo as condições anteriores o tanque terá um acréscimo de 2.52 % do seu nível. Como o somatório de 60 % com 2.52 % é inferior a 70 %, está garantido assim o funcionamento mínimo de 10 minutos nas condições obrigatórias.

Uma outra condição contemplada pelo autor, dita que, o nível de água do tanque poderia atingir os 100 %. Atingindo os 100 % mesmo que exista abertura da válvula de *bypass* devido a ter sido atingido o limite máximo de injeção, o tratamento só terá autorização de funcionar quando o nível atingir os 95 %. Mesmo que o nível se encontre por exemplo nos 94 % e exista pedido por excesso de energia, válvula de *bypass* aberta devido ao limite da potência injetada, o tratamento irá funcionar pelo menos 10 minutos. Se o pedido ao fim desses 10 minutos já não se encontrar ativo, e por exemplo o nível de água atingir os 97 %, se no instante seguinte já existir pedido por excesso de energia, o tratamento só irá funcionar quando o nível atingir os 95 % isto com o objetivo de garantir que o tratamento funcione sempre no mínimo 10 minutos sem que o nível ultrapasse os 100 %.

A solução acima descrita permite que exista uma reserva de água tratada entre 70 % e 100 %, para que em momentos menos favoráveis da instalação não seja necessário colocar em funcionamento o tratamento de água. Não colocando em funcionamento é possível vender á rede uma quantidade de energia elétrica superior, correspondente ao consumo do sistema.

5.1.2. TRITURADOR

Com o foco em retirar partido da abertura da válvula de *bypass* e garantindo que este equipamento no mínimo funciona 5 minutos por cada 25 minutos decorridos, visto que atualmente esta cadência de funcionamento é suficiente para não prejudicar o funcionamento da central, foi idealizado que sempre que exista a abertura da válvula de *bypass* devido a ter sido atingido o limite de potência definido, o triturador terá que funcionar no mínimo de 5

minutos. No caso de a válvula estar mais que 5 minutos aberta então o mesmo irá funcionar o mesmo tempo que o *bypass* estiver com uma abertura positiva. Se por exemplo a válvula abrir apenas durante 1 minuto o triturador irá funcionar 5 minutos. Se nos últimos 25 minutos o destrocador não for acionado, então este irá funcionar obrigatoriamente 5 minutos, (ver Figura 39).

5.1.3. SISTEMA DE AQUECIMENTO DE BIOMASSA

Com o objetivo de não prejudicar o rendimento atual da central devido a não ser conhecida a efetividade deste sistema, foi idealizado que este sistema iria ser colocado em funcionamento sempre que a válvula de *bypass* abra devido a ter sido atingido o limite imposto pela rede de potência ativa.

Uma vez que a variação de abertura da válvula de *bypass*, (ver Figura 22, 23 e 24), não é cíclica ao longo dos meses, dificilmente iria ser possível retirar alguma conclusão relativa a eficiência do sistema, implementado o funcionamento descrito no parágrafo anterior, (ver Figura 40). Assim foi também idealizado que independentemente da válvula de *bypass* se encontrar aberta devido ao limite de potência injetada na rede, este terá que funcionar pelo menos 10 minutos a cada 10 minutos, e sempre que seja acionado terá de funcionar 10 minutos consecutivos, (ver Figura 41).

5.2. FLUXOGRAMA

Com o objetivo de representar esquematicamente o processo definido no subcapítulo anterior relativa as medidas propostas para otimização do funcionamento dos equipamentos em estudo, foram desenvolvidos os seguintes fluxogramas:

Sistema de produção de água tratada

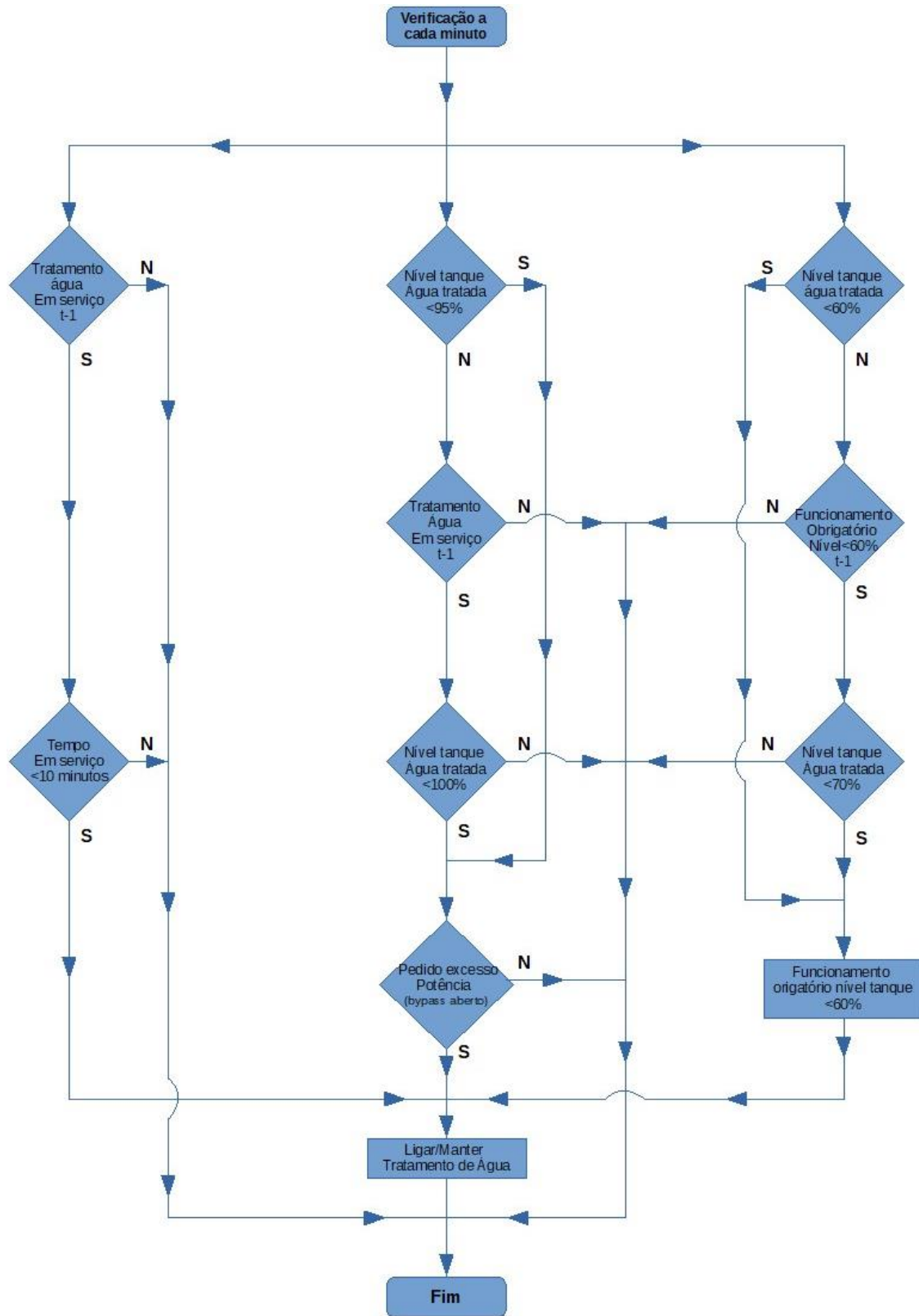


Figura 38 – Fluxograma relativo ao novo funcionamento do sistema de produção de água tratada

Triturador

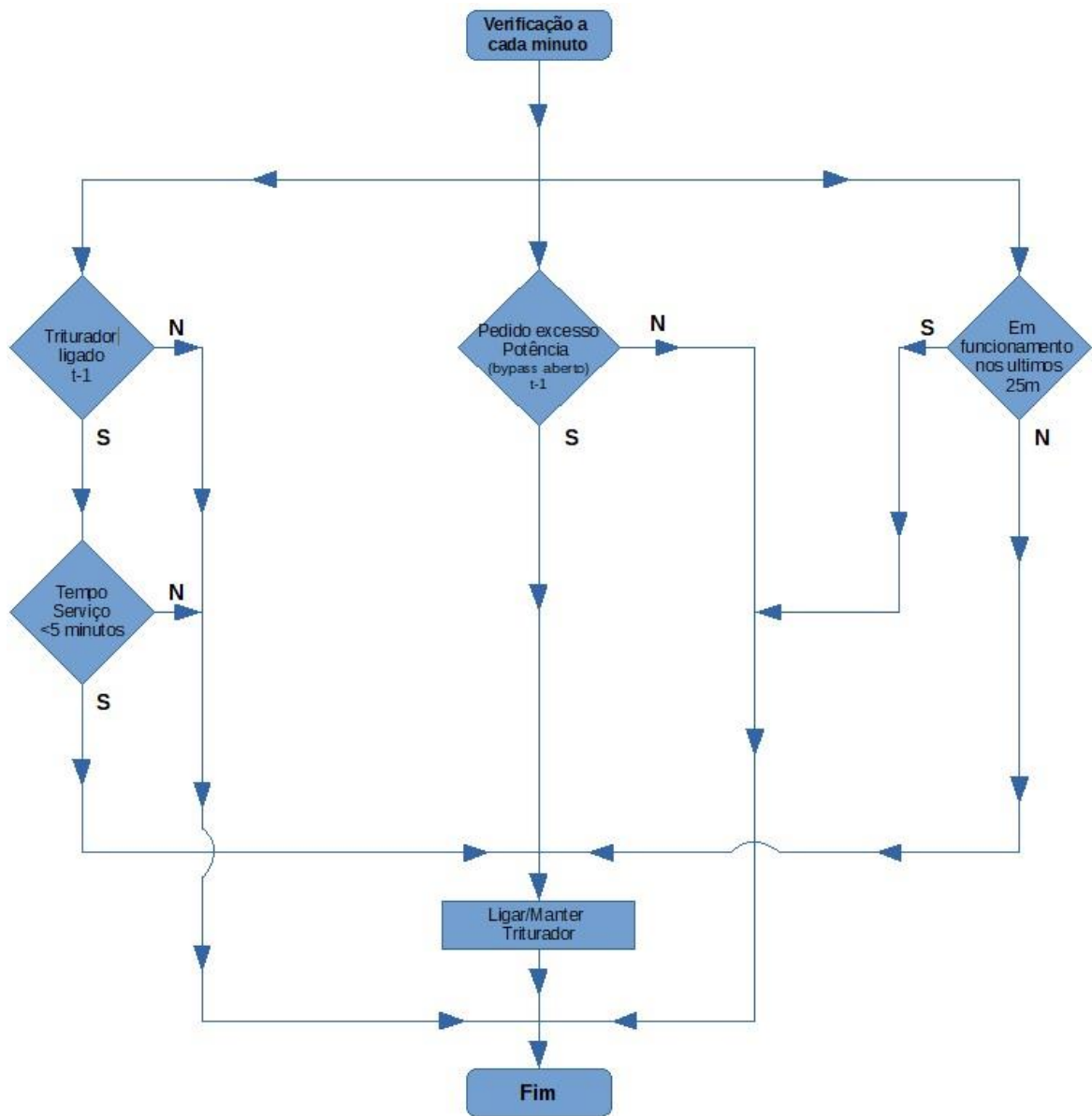


Figura 39 – Fluxograma do novo princípio de funcionamento do triturador

Sistema de aquecimento de biomassa

De acordo com o mencionado no subcapítulo anterior, relativo a medida proposta para funcionamento deste sistema, primeiramente, foi desenvolvido o fluxograma representado na Figura 40, que dita que a única condição necessária para ordenar o funcionamento do sistema é a abertura da válvula de *bypass* devido a ter sido atingida a potência máxima injetada na rede. De seguida, (ver Figura 41), é demonstrado o fluxograma que dita que o funcionamento deste sistema não é inteiramente dependente da abertura da válvula de *bypass* devido a ter sido atingida a potência máxima injetada na rede.

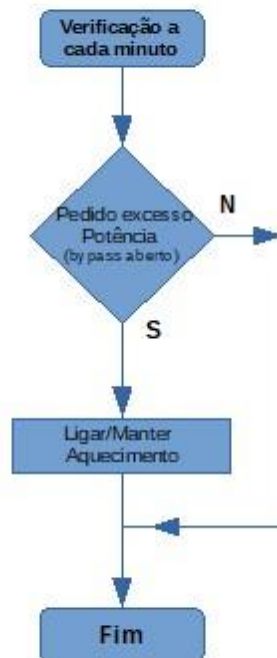


Figura 40 – Princípio de funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa 1

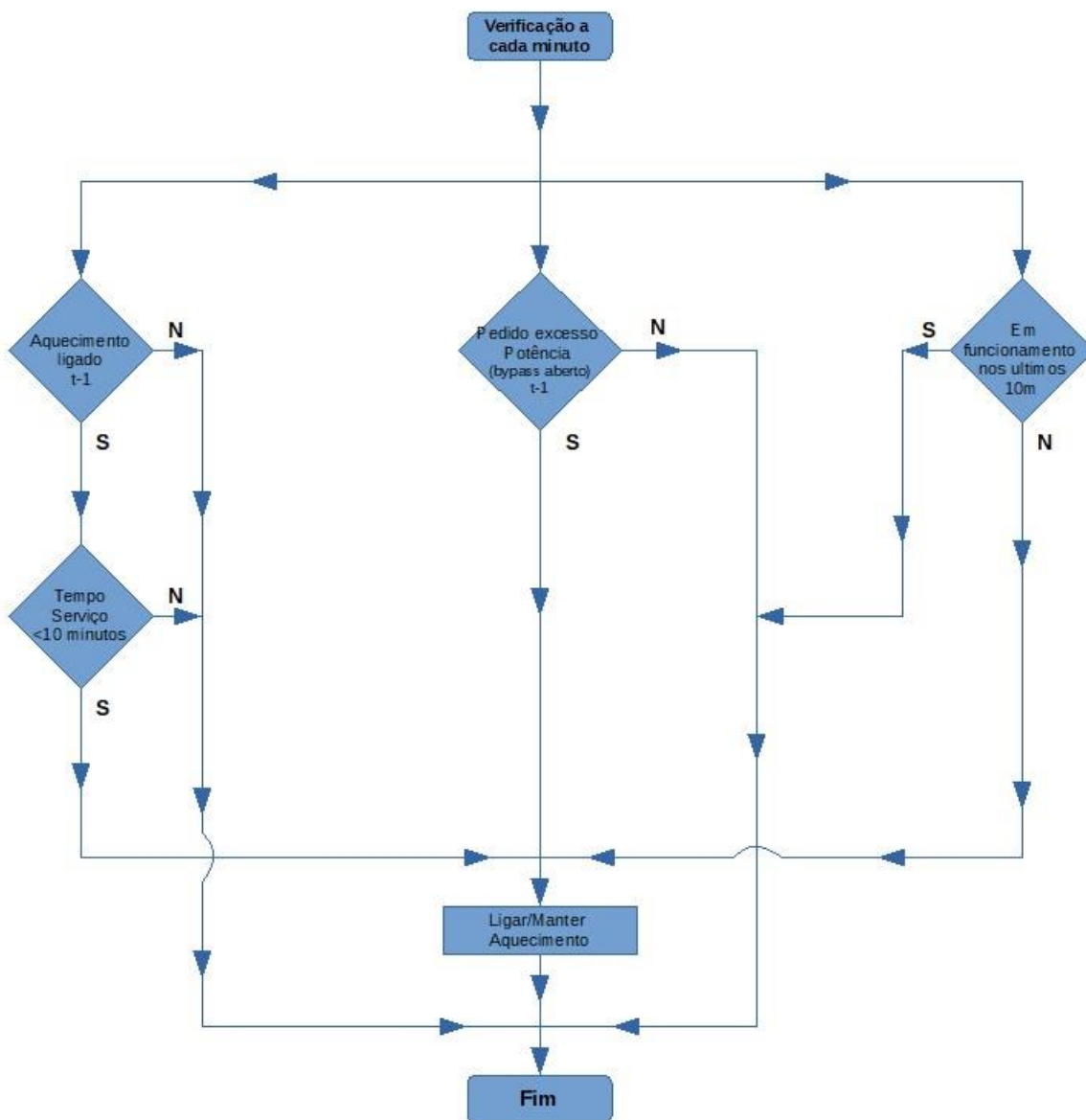


Figura 41 – Novo funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa 2

5.3. PROGRAMAÇÃO

Com o objetivo de implementar no autômato existente a lógica desenvolvida relativa ao novo método de funcionamento dos sistemas abordados neste trabalho, respeitando os fluxogramas desenvolvidos, (ver Figura 38, 39, 40 e 41), o autor desenvolveu no software utilizado na programação do autômato existente, a lógica necessária para o novo funcionamento de cada equipamento.

Nos fluxogramas desenvolvidos existe sempre a necessidade de controlar o tempo máximo ou mínimo de funcionamento do equipamento, e por isso foi necessário criar uma variável, binária, que garantisse que ao fim de cada minuto o seu estado comute de 0 para 1.



Figura 42 – Programação Tia Portal (Pulse)

Na lógica binária da Figura 42, criada no bloco “OBI”, foi utilizado o bloco “TON” que permite colocar a sua saída a “1” depois de passado o tempo definido, neste caso 1 minuto (T# 1m). Passado o tempo definido a saída do bloco prevalece a “1” desde que exista uma variável, que anteceda ao bloco que também permaneça a “1”.

Como o pretendido é obter uma variável binária de memória que transite de “0” para “1” de 1 em 1 minuto, foi então criada a variável “%M4.0”. A anteceder o bloco “TON” existe o estado da variável “%M4.0” negado e a saída do bloco “TON” existe a ordem de colocar a “1” a variável. Como inicialmente a variável “%M4.0” é “0”, o bloco “TON” irá ser ativo, contacto negado, e passado um minuto a sua saída será “1” e irá colocar a variável de memória “%M4.0” a “1”, só que esta não vai permanecer a “1” uma vez que antes do bloco o contacto dessa mesma variável está negado. Assim é possível variar o resultado da variável “%M4.0” de “0” para “1” de 1 em 1 minuto.

Também foi desenvolvida a programação, num bloco do tipo *FB*, que permite totalizar tempo que os equipamentos irão estar em funcionamento, para que seja possível uma análise futura do rendimento destes equipamentos, (ver Figura 43).

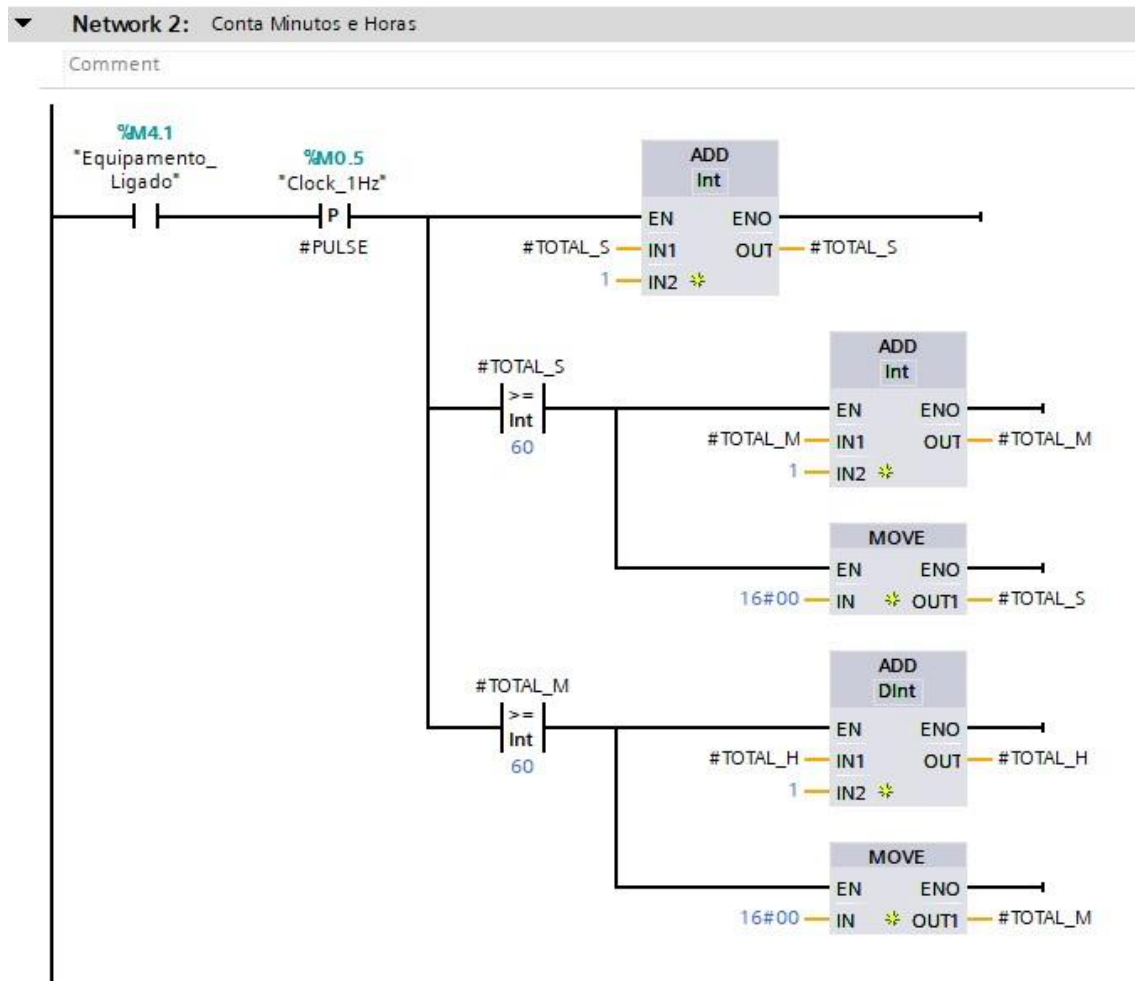


Figura 43 - Programação Tia Portal (Conta horas e minutos)

A variável de memória, binária, “%M0.5”, (ver Figura 43), já existe na estrutura de programação do PLC. Esta variável tem um funcionamento de 1 Hz, isto é, está 0.5 segundos a “0” e 0.5 segundo a “1”. Como o ciclo de processamento do autómato é na ordem dos milissegundos, a variável “%M0.5” iria estar alguns ciclos do programa a “1” o que iria afetar a contagem nos blocos que precedem. Assim foi utilizado o contacto “P” na variável “%M0.5” que deteta os flancos positivos, isto é, o contacto vai a “1” no instante que variável “%M0.5” transita de “0” para “1” assim é possível que a saída seja “1” de 1 em 1 segundo. É assim possível, desde que o equipamento esteja em funcionamento “%M4.1” incrementar no primeiro bloco “ADD” uma unidade de 1 em 1 segundo escrevendo este resultado na

variável “#TOTAL_S”, que corresponde a contagem de tempo em segundos do equipamento. Quando esta variável totaliza 60 incrementos, segundos, é movido o valor zero para a mesma, com o objetivo de a “reiniciar” e é incrementado uma unidade no segundo bloco “ADD” na variável “#TOTAL_M” que corresponde a cada minuto passado do funcionamento do equipamento. No terceiro bloco a lógica é exatamente a mesma utilizada para contar os minutos, só que neste caso é incrementada uma unidade de 60 em 60 minutos na variável “#TOTAL_H” e ao mesmo tempo é movido o valor zero para a variável “#TOTAL_M”.

Após concluída a programação comum ao funcionamento dos três equipamentos, foi realizada a programação de acordo com a lógica presente nos fluxogramas (ver Figura 38, 39, 40 e 41).

Sistema de produção de água tratada

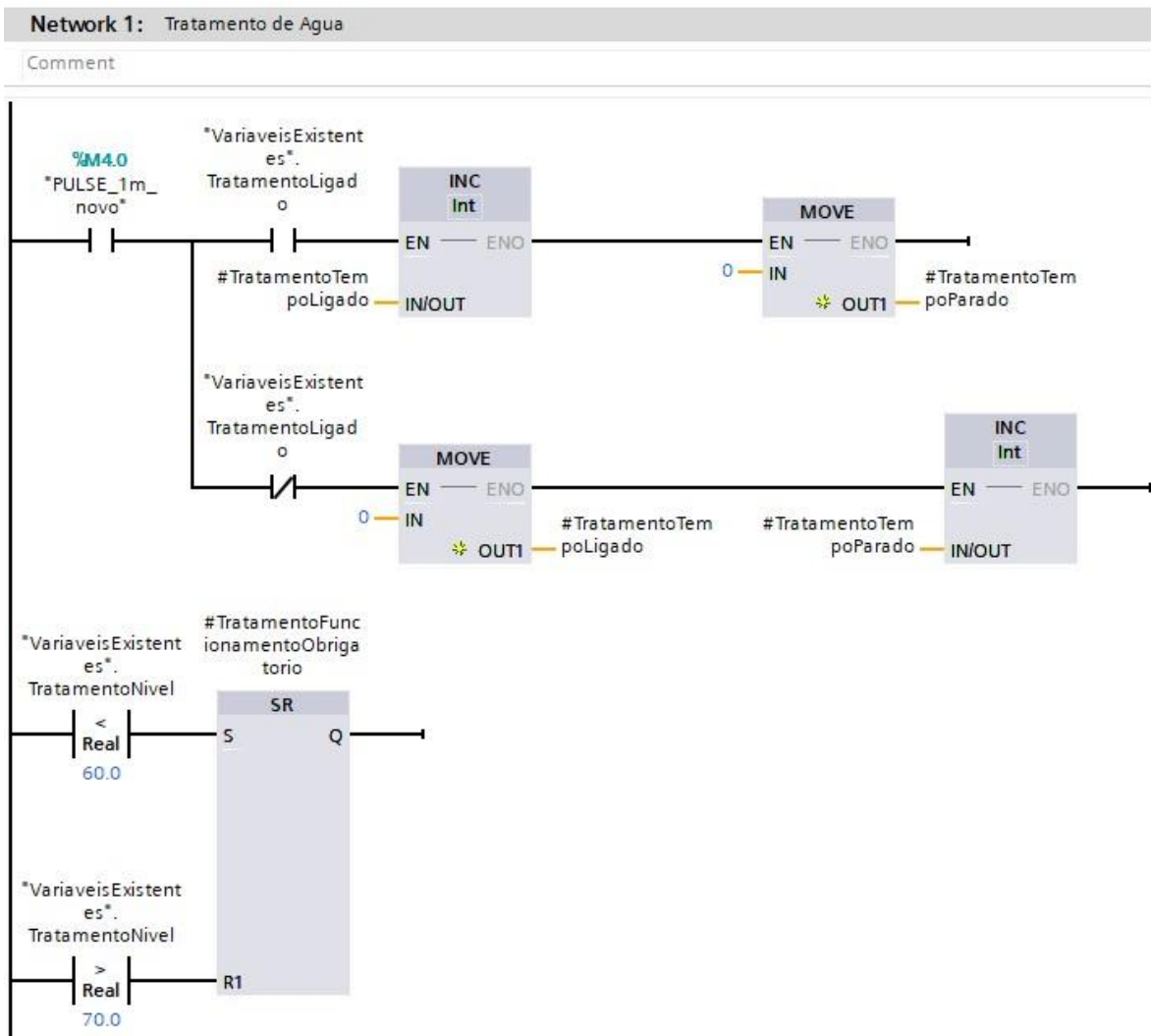


Figura 44 - Programação Tia Portal (Tratamento de água 1)

Para que fosse possível contabilizar quantos minutos o sistema de tratamento de água está a funcionar ou está parado, foi necessário utilizar a variável definida anteriormente, “%M4.0”, e de minuto a minuto no caso de o tratamento estar a funcionar ou não, será incrementado uma unidade ao respetivo bloco “INC”. Sempre que esta ligado é também movido um 0 para o contador de tempo ligado, para que seja possível reiniciá-lo e no caso de estar desligado é movido um zero para o contador de tempo desligado. Surgem assim duas variáveis onde fica armazenado o tempo que o sistema esteve ligado ou desligado, “#tratamentoTempoLigado” e “#TratamentoTempoDesligado”, respetivamente, (ver Figura 44).

Para definir o intervalo de nível de água no tanque em que o sistema irá ter que funcionar obrigatoriamente, respeitando o excerto, (ver Figura 45), do fluxograma criado anteriormente, (ver Figura 38), relativo ao novo funcionamento do sistema de tratamento de água, foi utilizado um bloco *set-reset*, “SR”, em que o resultado da variável “#TratamentoFuncionamentoObrigatorio” é 1 no caso do nível ser inferior a 60, *set*, e 0 no caso do nível ser superior a 70, *reset*.

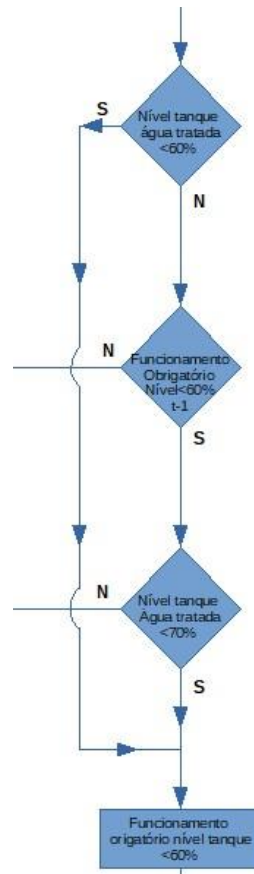


Figura 45 – Excerto do fluxograma sistema de produção de água tratada (Funcionamento obrigatório)

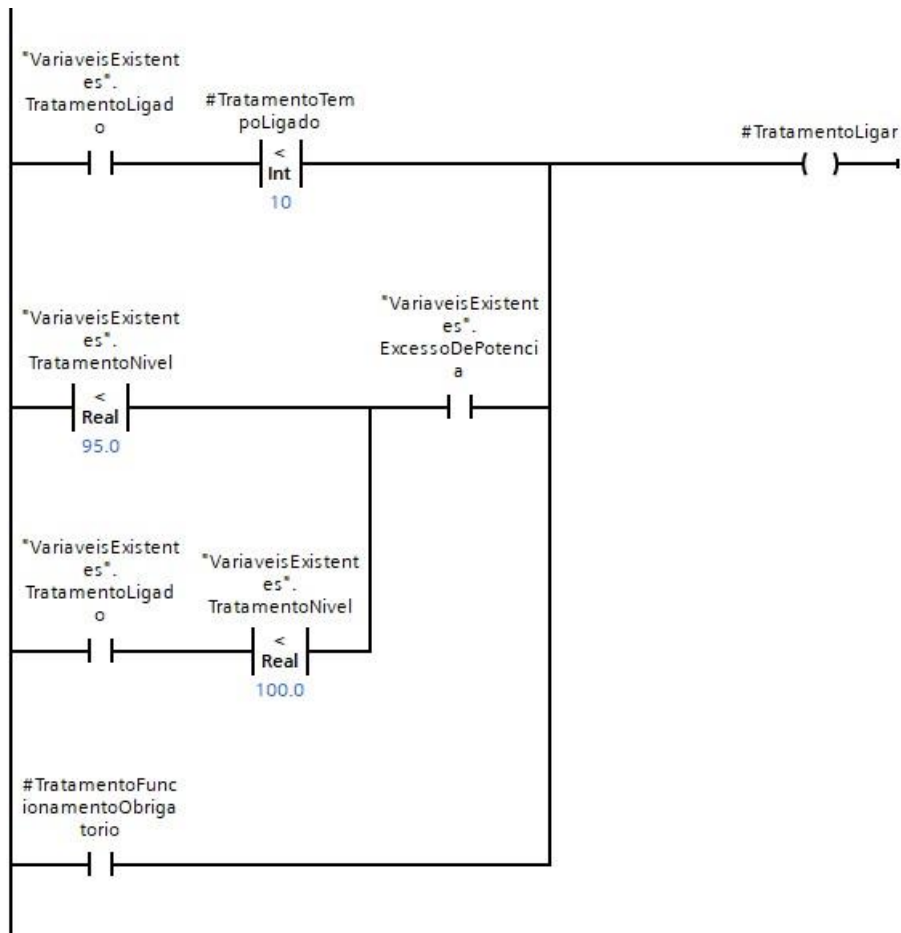


Figura 46 - Programação Tia Portal (Tratamento de água 2)

De seguida foi necessário implementar, (ver Figura 46), as condições que definem a ordem de funcionamento do sistema, “#TratamentoLigar” como definido na Figura 38.



Figura 47 - Excerto do fluxograma sistema de produção de água tratada (Ordem de Funcionamento)

Na primeira condição, recorrendo a variável definida inicialmente no programa “#TratamentoTempoLigado” e ao estado do sistema “TratamentoLigado”, foi definido que o tempo de funcionamento mínimo é de 10 minutos, (ver Figura 48).

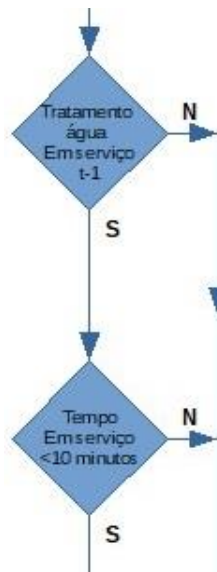


Figura 48 - Excerto do fluxograma sistema de produção de água tratada (Tempo mínimo de funcionamento)

Se se verificar que o sistema está em funcionamento, variável “TratamentoLigado” com o valor “1”, e que a variável “#TratamentoTempoLigado” é inferior a 10, existe assim ordem de funcionamento do sistema.

Uma outra condição, (ver Figura 46), dita que se o nível do tanque “TratamentoNivel” for inferior a 95 % e existir abertura da válvula de *bypass* devido a ter sido atingido o limite de injeção “ExcessoDePotencia” ou se o tratamento estiver em funcionamento “#TratamentoLigado”, o nível inferior a 100 % e existir abertura da válvula de *bypass* devido a ter sido atingido o limite de injeção “ExcessoDePotencia” irá existir ordem para funcionamento do sistema (ver Figura 49).

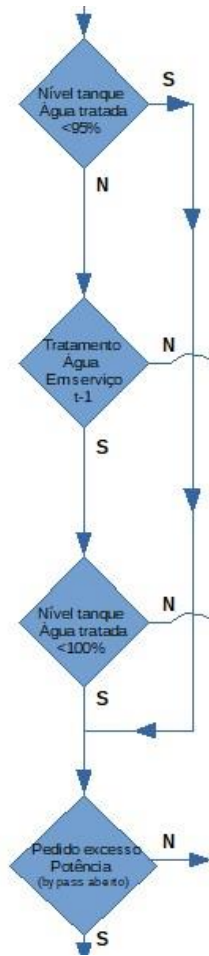


Figura 49 - Excerto do fluxograma sistema de produção de água tratada (Nível superior 70 %)

Por último através do resultado do bloco *set-reset* foi definida a ordem de funcionamento obrigatória que ordena o funcionamento do sistema entre os 60 e os 70 % de nível do tanque de água tratada, (ver Figura 45 e Figura 46).

A lógica desenvolvida para este equipamento foi realizada com recurso a um bloco do tipo “FB”.

Triturador

Para o desenvolvimento da lógica de funcionamento para o triturador, utilizando um bloco do tipo “FB”, foi utilizada a mesma lógica para totalizar o tempo em que o sistema está em funcionamento ou parado, “#TrituradorTempoLigado” e “#TrituradorTempoDesligado”, (ver Figura 50).

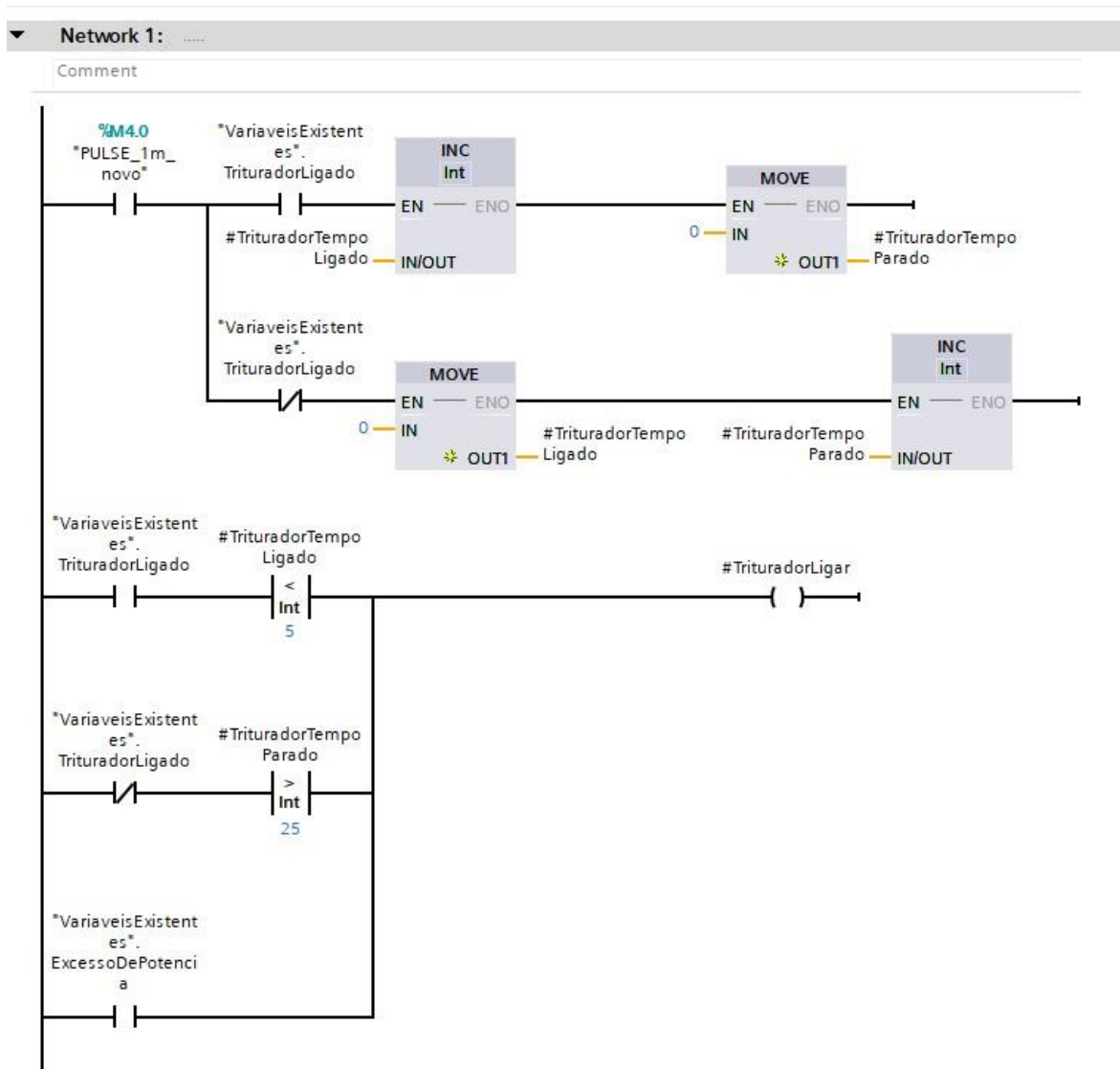


Figura 50 - Programação Tia Portal (Triturador)

Para que exista ordem de funcionamento do equipamento, “#TrituradorLigar”, (ver Figura 51), o mesmo tem que estar em funcionamento “TrituradorLigado” e o seu tempo de funcionamento, “#TrituradorTempoLigado” tem que ser inferior a 5 minutos, (ver Figura 52).



Figura 51 - Excerto do fluxograma do funcionamento do triturador (Ordem de funcionamento)

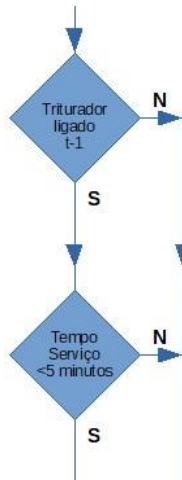


Figura 52 - Excerto do fluxograma do funcionamento do triturador (Tempo mínimo de funcionamento)

No caso de existir abertura da válvula de *bypass* devido a ter sido atingido o limite de injeção “ExcessoDePotencia” irá continuar a existir a ordem “#TrituradorLigar”, (ver Figura 53).

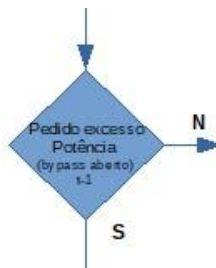


Figura 53 - Excerto do fluxograma do funcionamento do triturador (Funcionamento devido bybass)

No caso de o equipamento não estar em funcionamento, contacto negado da variável “#TrituradorLigado”, e estar parado a mais de 25 minutos, "#TrituradorTempoParado”, irá existir também ordem para ligar o equipamento, (ver Figura 54).



Figura 54 - Excerto do fluxograma do funcionamento do triturador (Tempo mínimo parado)

Sistema de aquecimento de biomassa

Para o desenvolvimento da lógica de funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa, com recurso a um bloco do tipo “FB”, idêntica ao funcionamento do triturador, foi utilizada a mesma lógica para totalizar o tempo em que o sistema está em funcionamento ou em repouso, “#AquecimentoTempoLigado” e “#AquecimentoTempoDesligado”, (ver Figura 55).

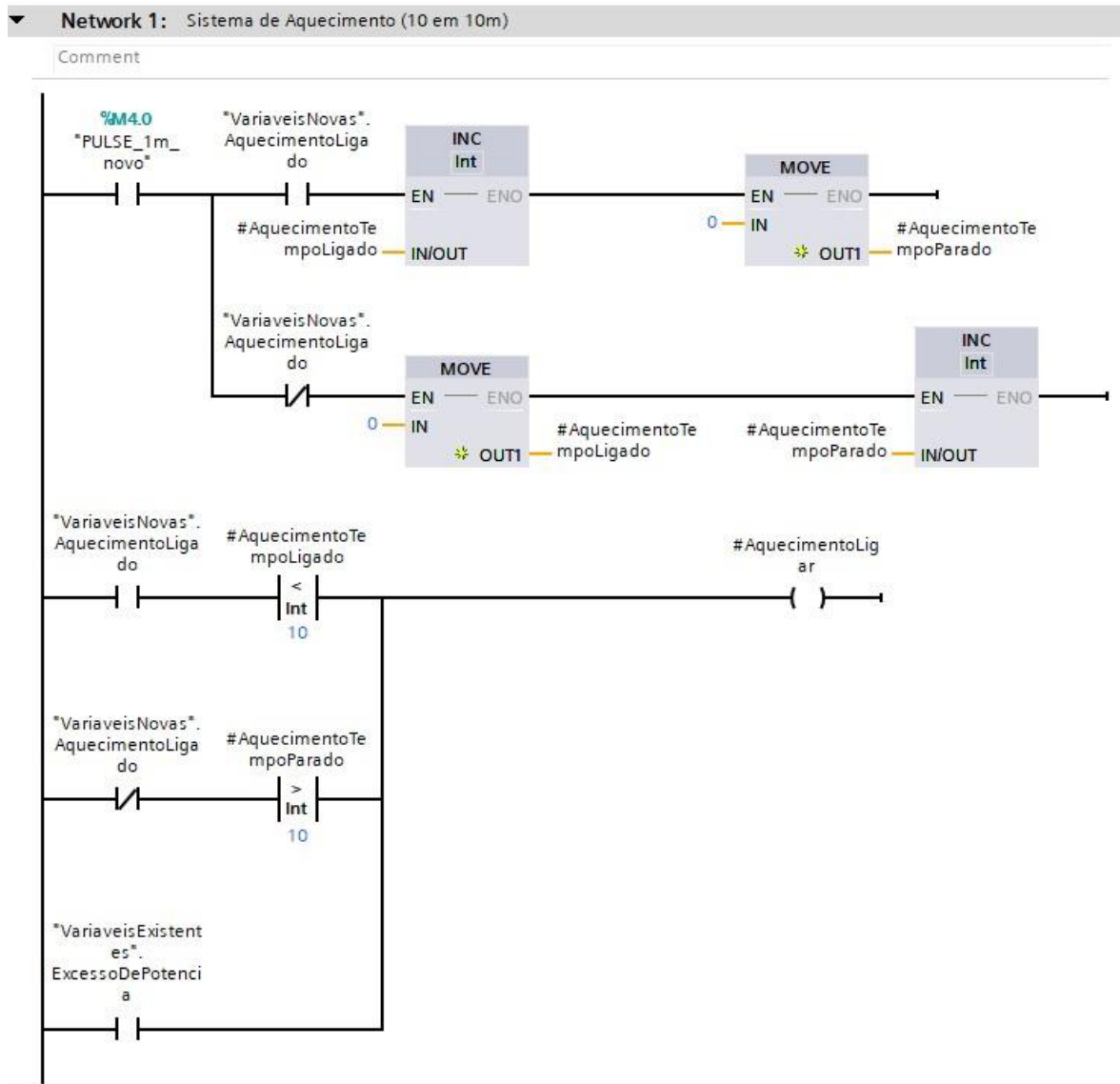


Figura 55 - Programação Tia Portal (Sistema aquecimento de 10 em 10 minutos)

Para que exista ordem de funcionamento do equipamento, “#AquecimentoLigar”, (ver Figura 56), o mesmo tem que estar em funcionamento “AquecimentoLigado” e o seu tempo de funcionamento, “#AquecimentoTempoLigado” tem que ser inferior a 10 minutos, (ver Figura 57), mas no caso de existir abertura da válvula de *bypass* devido a ter sido atingido o limite de injeção “ExcessoDePotencia” irá continuar a existir a ordem “#AquecimentoLigar”, (ver Figura 58).



Figura 56 - Excerto do fluxograma do funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa 2 (Ordem de funcionamento)

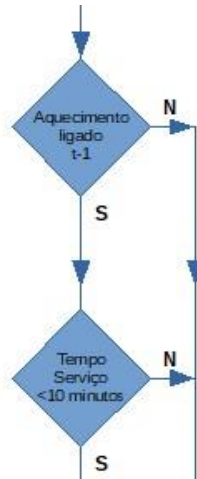


Figura 57 - Excerto do fluxograma do funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa 2 (Tempo mínimo de funcionamento)

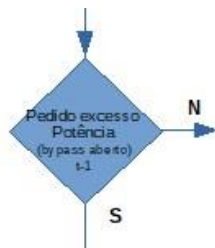


Figura 58 - Excerto do fluxograma do funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa 2 (Funcionamento devido bybass)

No caso de o equipamento não estar em funcionamento, contacto negado da variável “#AquecimentoLigado”, e estar parado a mais de 10 minutos, “#AquecimentoTempoParado”, irá existir também ordem para ligar o equipamento, (ver Figura 59).



Figura 59 - Excerto do fluxograma do funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa 2 (Tempo mínimo parado)

A outra opção de funcionamento contemplada, (ver Figura 60), para o funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa, define que existe ordem para o mesmo ligar, “#LigarAquecimento”, apenas no caso de a variável “ExcessoDePotencia” estar a “1” como definido no fluxograma da Figura 40 .



Figura 60 - Programação Tia Portal (Sistema aquecimento bypass)

5.4. SIMULAÇÃO DE NOVA OPERAÇÃO

Sistema de produção de água tratada

Para a implementação da lógica referente ao fluxograma da Figura 38, no *software* de simulação foi necessário em primeiro lugar considerar que o sistema não iria funcionar neste mês. Assim com base nos dados obtidos do mês de outubro, foram identificados os momentos em que o sistema esteve a funcionar, para que fosse possível incrementar na potência exportada o valor da potência do equipamento. Realizado este processo será possível implementar a nova ideologia de funcionamento para o equipamento, decrementado na potência exportada o valor da potência do equipamento quando este for ordenado a funcionar.

	A	D	F	G	H	R	S	T	AD	AT	AU
	Data	Pot. Activa Exportada (Pré-Simulação) (kW)	Percentagem de abertura Válvula Bypass (Pré-Simulação) (%)	Pot. Activa Exportada Simulada (kW) (sem o tratamento Água em operação)	Caudal Bypass -> Pot. perdida pelo Bypass (kW) (sem tratamento Água)	Conversão através de equação, que permite relacionar a % de abertura do Bypass com o Caudal. Bypass (%) -> Caudal (t/h)	Conversão através de equação, que permite relacionar o Caudal do Bypass com a Pot. Produzida se esse se dirigir-se para a Turbina. Caudal Bypass (t/h) -> Pot. Prod. Turb./Gerad. (MW)	Caudal Bypass (t/h) -> Pot. Prod. Turb./Gerad. (kW)	Funcionamento antigo Trat. Água (0 ou 1)	Produção Água Tratada (m ³ /h) (pré-simulação) (R016)	Nível água tratada no tanque (%) (pré-simulação) (R015)
2	01-10-2020 00:00:00	10499,5	5,34	10499,5	1029,1	5,292	1,03	1029,1	0	0,0141285	100,11
3	01-10-2020 00:01:00	10442,2	2,20	10442,2	425,7	2,317	0,43	425,7	0	0,0137252	100,15
4	01-10-2020 00:02:00	10474,2	0,00	10474,2	0,0	0,000	0,00	0,000	0	0,0133418	100,11
5	01-10-2020 00:03:00	9526,7	0,00	9526,7	0,0	0,000	0,00	0,000	0	0,0130993	100,2
6	01-10-2020 00:04:00	9324,7	0,00	9324,7	0,0	0,000	0,00	0,000	0	0,012865	100,29
7	01-10-2020 00:05:00	9759,5	0,00	9759,5	0,0	0,000	0,00	0,000	0	0,0126394	100,29
8	01-10-2020 00:06:00	10441,7	0,00	10441,7	0,0	0,000	0,00	0,000	0	0,012316	100,15
9	01-10-2020 00:07:00	10452,7	0,02	10452,7	4,3	0,025	0,00	4,3	0	0,0120065	100,2
10	01-10-2020 00:08:00	10508,2	0,00	10508,2	0,0	0,000	0,00	0,000	0	0,0118094	100,2
11	01-10-2020 00:09:00	10354,6	0,00	10354,6	0,0	0,000	0,00	0,000	0	0,0116186	100,02
12	01-10-2020 00:10:00	9678,5	0,00	9678,5	0,0	0,000	0,00	0,000	0	0,0114343	100,02

Figura 61 – Simulação sistema de tratamento de água (1)

Nos momentos em que o sistema se encontrava em funcionamento, (ver Figura 61, coluna AD), o valor da sua potência ativa foi somada a potência ativa exportada, (ver Figura 61, coluna D), nos momentos em que a potência ativa exportada era inferior a 10600 kW. Nos momentos em que a potência ativa exportada era superior ou igual a 10600 kW, o valor da potência do sistema de tratamento foi incrementado na potência ativa “desperdiçada” pela válvula de *bypass*, (ver Figura 61, coluna H). A potência ativa “desperdiçada” pela válvula

de *bypass* foi calculada, (ver Figura 61, coluna S), através da equação determinada na Figura 28, sendo necessário em primeiro lugar relacionar a percentagem de abertura com o caudal de vapor que passaria na válvula, (ver Figura 61, coluna R), recorrendo a equação determinada na Figura 27.

	A	K	L	M	N	O	P	Q	
1	Data	Identificar a (1) os momentos em que a Pot. Exportada (Simulada) ultrapassou os 10600kW e inicialmente era inferior a 10600kW (Pre-Simulação)	O que é necessário aumentar de Potência Elétrica no Bypass uma vez que antes da simulação o Bypass estava fechado e a Pot. era inferior a 10600kW e passou os 10600kW (kW)	Pot. Exportada simulada em que o Tratamento de Água nunca funciona (kW)	Pot. Desperdiçada pelo Bypass, simulada, em que o Tratamento de Água nunca funciona (kW)	Visto que existem momentos em que a Pot. Exportada inicialmente era superior a 10600kW uma vez que o Bypass não reagiu, é necessário considerar que nestes momentos o incremento de potência, uma vez que são considerados os equipamentos desligados, seja na Pot. desperdiçada pelo Bypass e não na Pot. Exportada (kW)	Pot. Exportada simulada em que o Tratamento de Água nunca funciona (Corrigido de acordo com coluna anterior) (kW)	Pot. Desperdiçada pelo Bypass, simulada, em que o Tratamento de Água nunca funciona (Corrigido de acordo com coluna anterior) (kW)	
2	01-10-2020 00:00:00	0,0	0,0	10499,5	1029,1		0,0	10499,5	1029,1
3	01-10-2020 00:01:00	0,0	0,0	10442,2	425,7		0,0	10442,2	425,7
4	01-10-2020 00:02:00	0,0	0,0	10474,2	0,0		0,0	10474,2	0,0
5	01-10-2020 00:03:00	0,0	0,0	9526,7	0,0		0,0	9526,7	0,0
6	01-10-2020 00:04:00	0,0	0,0	9324,7	0,0		0,0	9324,7	0,0
7	01-10-2020 00:05:00	0,0	0,0	9759,5	0,0		0,0	9759,5	0,0
8	01-10-2020 00:06:00	0,0	0,0	10441,7	0,0		0,0	10441,7	0,0
9	01-10-2020 00:07:00	0,0	0,0	10452,7	4,3		0,0	10452,7	4,3
10	01-10-2020 00:08:00	0,0	0,0	10508,2	0,0		0,0	10508,2	0,0
11	01-10-2020 00:09:00	0,0	0,0	10354,6	0,0		0,0	10354,6	0,0
12	01-10-2020 00:10:00	0,0	0,0	9678,5	0,0		0,0	9678,5	0,0

Figura 62 – Simulação sistema de tratamento de água (2)

De seguida foram identificados os momentos em que devido ao incremento de potência, a potência exportada ultrapassou os 10600 kW, (ver Figura 62, coluna K). Identificados estes momentos foi realizada, (ver Figura 62, coluna L), a diferença entre o valor da coluna G, (ver Figura 61, coluna G), e o limite possível de ser exportado, 10600kW. A “nova” correção da potência exportada e da potência “desperdiçada” pelo *bypass* ficaram representadas nas colunas M e N, respetivamente, (ver Figura 62).

Devido ao facto de existirem valores de potência exportada, antes da simulação, superiores a 10600 kW, máximo registado 10640 kW, devido a válvula de *bypass* não reagir instantaneamente, foi considerado nesta simulação, (ver Figura 62, coluna O), que se o valor, situação atual, for superior ao limite imposto pela rede, então, o incremento de potência será realizado na potência “desperdiçada” pelo *bypass* e não na potência exportada para a rede.

Foi assim possível determinar qual seria a potência exportada, (ver Figura 62, coluna P), e qual a potência “desperdiçada” pelo *bypass*, (ver Figura 62, coluna Q), no caso de o tratamento de água nunca funcionar no mês de outubro.

Em seguida foi necessário realizar a simulação de acordo com o fluxograma, (ver Figura 38), relativamente ao novo funcionamento idealizado do sistema de tratamento de água.

	A	X	Y	Z	AA	AB	AC
1	Data	Pedido (Condição 0 ou 1) Para funcionar equipamentos devido a Pot. Exportada ser >=10600 e o Bypass aberto (simulação)	(CONDIÇÃO para o novo funcionamento do Trat. Água) Obrigatoriedade por nível <60 (0 ou 1)	(CONDIÇÃO para o novo funcionamento do Trat. Água) Autorização por nível <100 (0 ou 1)	(CONDIÇÃO para o novo funcionamento do Trat. Água) Obrigatoriedade por tempo mínimo (10min) (0 ou 1)	Comando da Trat. Água (Ordem para funcionamento (0 ou 1)) NOVO	Novo nível do tanque de Água tratada
2	01-10-2020 00:00:00	0	0	0	0	0	70,00
3	01-10-2020 00:01:00	0	0	1	0	0	69,93975
4	01-10-2020 00:02:00	0	0	1	0	0	69,87950
5	01-10-2020 00:03:00	0	0	1	0	0	69,81925
6	01-10-2020 00:04:00	0	0	1	0	0	69,75900
7	01-10-2020 00:05:00	0	0	1	0	0	69,69875
8	01-10-2020 00:06:00	0	0	1	0	0	69,63850
9	01-10-2020 00:07:00	0	0	1	0	0	69,57825
10	01-10-2020 00:08:00	0	0	1	0	0	69,51800
11	01-10-2020 00:09:00	0	0	1	0	0	69,45775
12	01-10-2020 00:10:00	0	0	1	0	0	69,39750
13	01-10-2020 00:11:00	0	0	1	0	0	69,33725
14	01-10-2020 00:12:00	0	0	1	0	0	69,27700

Figura 63 – Simulação sistema de tratamento de água (Lógica)

Foi definida, (ver Figura 63), a condição na coluna Y, que determina o nível, 60 e os 70 %, em que o sistema é obrigado a funcionar de forma ininterrupta, isto é, se o novo nível, coluna AC, for inferior a 60 %, então na coluna Y, irá surgir o resultado “1”, se não, se no instante anterior da coluna Y existir o resultado “1” e o nível da coluna AC for inferior a 70 % então o resultado da coluna Y irá também ser “1”.

$$Y = SE(AC \leq 60; 1; SE(E(Y(t-1) = 1; AC < 70); 1; 0)) . \quad (3)$$

De seguida foi implementada a condição, coluna Z, que permite o funcionamento do tratamento até que o nível alcance os 100 %, considerando que depois de atingir os 100 % só poderá voltar a entrar em funcionamento quando o mesmo atingir os 95 %. Se o nível for inferior a 95 % surgirá o resultado “1”, se não, se existir ordem de funcionamento do novo sistema, resultado “1” na coluna AB, e o nível do tanque for inferior ou igual a 100 %, coluna AC, o resultado obtido será também “1”.

$$Z = SE(AC(t-1) < 95; 1; SE(E(AB(t-1) = 1; AC(t-1) \leq 100); 1; 0)). \quad (4)$$

Em seguimento da última condição, e como obrigatório, é necessário o funcionamento do sistema no mínimo de 10 minutos sempre que acionado, coluna AA. Se no instante anterior existir ordem para funcionamento do sistema, resultado ”1”, coluna AB, e o somatório dos últimos 10 instantes da coluna AB forem inferiores a 10 (minutos), então irá surgir como resultado “1”.

$$AA = SE(E(SOMA(AB(t-1):AB(t-10)) < 10; AB(t-1); 1; 0)). \quad (5)$$

Por último foi definida a “ordem” de funcionamento, isto é, quando é que o sistema vai ser acionado, sendo que o resultado “1” indica a ordem para funcionamento. Na coluna AB foi assim concretizada esta implementação em que só é possível obter o resultado unitário se existir obrigatoriedade de funcionamento de no mínimo 10 minutos, coluna AA, ou, se o nível for inferior a 100 %, coluna Z e em simultâneo ou existir a condição de funcionamento devido ao nível ser inferior a 70 %, coluna Y, ou se a válvula de *bypass* estiver aberta devido ao limite imposto de potência ativa pela rede, coluna X.

$$AB = SE(OU(AA = 1; E(OU(X = 1; Y = 1); Z = 1)); 1; 0)). \quad (6)$$

Para simular a variação do novo nível do tanque de água tratada, foi utilizada a coluna AC. Como já referido anteriormente o sistema de geração de vapor provoca um decréscimo constante no tanque de 0.06025 % por minuto e o sistema de produção de água tratada desde que em funcionamento, provoca um incremento no nível de 0.3125 %. Assim na coluna AC foi definido que existe em permanência um decréscimo de nível de 0.06025 %, por minuto,

e que se o tratamento estiver em funcionamento, coluna AB, existe para além do decréscimo um incremento de nível de 0.3125 % por minuto.

$$AC = AC(t-1) - 0.06025 + SE(AB(t-1) = 1; 0.3125; 0) . \quad (7)$$

No caso de existir ordem de funcionamento do equipamento, coluna AB, e a potência exportada ser maior ou igual a 10600 kW, o valor da potência do equipamento será decrementado aos valores da Figura 62 coluna Q. Já no caso de existir ordem de funcionamento do equipamento e o valor da potência exportada ser inferior a 10600 kW, o valor da potência do equipamento será decrementado aos valores da Figura 62 coluna P. Se o valor obtido na primeira condição for negativo, isto é, a potência “desperdiçada” pela válvula de *bypass* é inferior a potência do equipamento, então este será decrementado ao valor obtido na segunda condição, e irá resultar na nova potência exportada no mês em estudo. Este procedimento foi utilizado na simulação de todos os equipamentos em estudo.

Triturador

Para a realização da simulação de acordo com o fluxograma da Figura 39, foi utilizada a mesma metodologia utilizada na simulação do sistema de tratamento de água, variando apenas a lógica de funcionamento do equipamento.

	A	P	Q	X	AJ	AK	AL
	Data	Pot. Exportada simulada em que o Triturador nunca funcionam (Corrigido de acordo com coluna anterior) [kW]	Pot. Desperdiçada pelo Bypass, simulada, o Triturador nunca funcionam (Corrigido de acordo com coluna anterior) [kW]	Pedido (Condição 0 ou 1) Para funcionar equipamentos devido a Pot. Exportada ser >=10600 e o Bypass aberto (simulação)	CONDIÇÃO para novo funcionamento do Triturador funcionamento mínimo de 5 min. (0 ou 1)	CONDIÇÃO para o novo funcionamento do Triturador (0 ou 1) Se nos últimos 25min. a soma for inferior a 5min. Então terá que ligar independentemente do bypass	Novo Funcionamento do Triturador (0 ou 1)
1							
2	01-10-2020 00:00:00	10539,6	1029,1	0	0	0	0
3	01-10-2020 00:01:00	10482,3	425,7	0	0	0	0
4	01-10-2020 00:02:00	10514,3	0,0	0	0	0	0
5	01-10-2020 00:03:00	9566,8	0,0	0	0	0	0
6	01-10-2020 00:04:00	9364,8	0,0	0	0	0	0
7	01-10-2020 00:05:00	9759,5	0,0	0	0	0	0
8	01-10-2020 00:06:00	10441,7	0,0	0	0	0	0
9	01-10-2020 00:07:00	10452,7	4,3	0	0	0	0
10	01-10-2020 00:08:00	10508,2	0,0	0	0	0	0
11	01-10-2020 00:09:00	10354,6	0,0	0	0	0	0

Figura 64 - Simulação de acordo com a nova ideologia de funcionamento do triturador

Foram identificados, (ver Figura 64, coluna X), os momentos, resultado “1”, em que a abertura da válvula de *bypass* é superior a 0 %, (ver Figura 64, coluna Q), devido à potência exportada se encontrar no limite imposto, (ver Figura 64, coluna P). A fórmula utilizada na coluna X foi:

$$X = SE(E(P \geq 10600; Q > 0); 1; 0) . \quad (8)$$

Foi também necessário garantir, (ver Figura 64 coluna AJ), que sempre que este equipamento entre em funcionamento terá que funcionar no mínimo de 5 minutos e possa continuar em serviço desde que seja ultrapassado o limite de injeção na rede elétrica, (ver Figura 64 coluna X). Assim para que a condição seguinte se verifique, “1”, é necessário que se verifique a condição definida na coluna X ou que a soma dos últimos cinco instantes seja inferior a 5

minutos e que no último instante o equipamento se encontrava a funcionar. De acordo com a Figura 64, na coluna AJ foi definida a seguinte condição:

$$AJ = SE(X = 1; 1; SE(E(SOMA(AJ(t-1):AJ(t-5)) < 5; AJ(t-1) = 1); 1; 0)). \quad (9)$$

Com o objetivo de respeitar as condições obrigatórias de funcionamento foi também necessário garantir, (ver Figura 64, coluna AK), que o equipamento só poderá estar no máximo 25 minutos sem funcionar, independentemente do resultado da coluna X. Para isso é necessário verificar se nos últimos 25 minutos o equipamento esteve pelo menos 5 minutos em funcionamento:

$$AK = SE(SOMA(AL(t-1):AL(t-25)) \geq 5; 0; 1). \quad (10)$$

Por fim a ordem de funcionamento do triturador está definida na coluna AL, e dita que o triturador irá funcionar no caso de se verificar a condição da coluna AJ ou da coluna AK da Figura 64.

$$AL = SE(OU(AJ = 1; AK = 1); 1; 0). \quad (11)$$

Sistema de aquecimento de biomassa

A metodologia empregue para a simulação deste sistema foi a mesma utilizada para os equipamentos anteriores alterando apenas a lógica de funcionamento do equipamento respeitando os fluxogramas desenvolvidos na Figura 40 e Figura 41. O novo funcionamento impõe que independentemente de a válvula de *bypass* se encontrar aberta devido ao limite de potência injetada na rede, este terá que funcionar pelo menos 10 minutos a cada 10 minutos, e sempre que seja acionado terá de funcionar 10 minutos consecutivos.

Para realizar esta simulação foram criadas as seguintes colunas:

	A	D	F	W	AO	AP	AQ
1	Data	Pot. Activa Exportada (Pré-Simulação) (kW)	Porcentagem de abertura Válvula Bypass (Pré-Simulação) (%)	Pedido (Condição 0 ou 1) Para funcionar equipamentos devido a Pot. Exportada ser >= 10600kW e o Bypass aberto (pré-simulação)	CONDIÇÃO para novo funcionamento do Aquecimento Aquecimento mínimo de 10 min. (0 ou 1)	CONDIÇÃO para o novo funcionamento do Aquecimento (0 ou 1) Se nos últimos 20min. a soma for inferior a 10min. Então terá que ligar independentemente do bypass	Novo Funcionamento do aquecimento (0 ou 1) (10 MINUTOS em 10minutos)
2	01-10-2020 00:00:00	10499,5	5,34	0	0	0	0
3	01-10-2020 00:01:00	10442,2	2,20	0	0	0	0
4	01-10-2020 00:02:00	10474,2	0,00	0	0	0	0
5	01-10-2020 00:03:00	9526,7	0,00	0	0	0	0
6	01-10-2020 00:04:00	9324,7	0,00	0	0	0	0
7	01-10-2020 00:05:00	9759,5	0,00	0	0	0	0
8	01-10-2020 00:06:00	10441,7	0,00	0	0	0	0
9	01-10-2020 00:07:00	10452,7	0,02	0	0	0	0
10	01-10-2020 00:08:00	10508,2	0,00	0	0	0	0
11	01-10-2020 00:09:00	10354,6	0,00	0	0	0	0
12	01-10-2020 00:10:00	9678,5	0,00	0	0	0	0

Figura 65 - Simulação de acordo com a nova ideologia de funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa

Ao contrário do sucedido na simulação do sistema de tratamento de água e no triturador, como este sistema não se encontra contemplado nos consumos internos da instalação, não foi necessário incrementar o seu valor de potência ativa no valor da potência exportada, nos momentos do seu funcionamento.

Primeiramente foi necessário identificar os momentos, (ver Figura 65, coluna W), em que a abertura da válvula de *bypass* era superior a 0 %, (ver Figura 65, coluna F), devido à potência exportada se encontrar no limite imposto, (ver Figura 65, coluna D). Assim se o resultado for “1” significa que nesse instante a válvula encontrava-se aberta. Tal condição é necessária para que seja possível privilegiar os momentos em que a válvula é aberta. Esta condição é suficiente, única necessária, para garantir o funcionamento do sistema de acordo com o fluxograma da Figura 40.

$$W = SE(E(D \geq 10600 : F > 0); 1; 0). \quad (12)$$

Foi também necessário garantir, de acordo com o fluxograma da Figura 41, (ver Figura 65, coluna AO), que sempre que este equipamento entre em funcionamento ter que trabalhar no mínimo de 10 minutos e possa continuar em serviço desde esteja garantida a condição da coluna W. Assim para que a condição seguinte se verifique, “1”, é necessário que a condição definida na coluna W seja verdadeira ou então que se a soma dos últimos 10 instantes for inferior a 10 minutos e no último instante o sistema esteve em funcionamento, coluna AO.

$$AO = SE(W = 1; 1; SE(E(SOMA(AO(t-1):AO(t-10)) < 10; AO(t-1)=1); 1; 0)). \quad (13)$$

Com o objetivo de respeitar as condições definidas como obrigatórias de funcionamento foi também necessário garantir, (ver Figura 65, coluna AP), que o equipamento só poderá estar 10 minutos sem funcionar independentemente do resultado da coluna W. Para tal é necessário verificar se nos últimos 20 minutos o equipamento esteve pelo menos 10 minutos em funcionamento:

$$AP = SE(SOMA(AQ(t-1):AQ(t-20)) \geq 10; 0; 1). \quad (14)$$

A ordem de funcionamento do aquecimento de biomassa está definida na coluna AQ da Figura 65, e dita que o sistema irá funcionar no caso de se verificar a condição da coluna AO ou da coluna AP.

$$AQ = SE(OU(AO = 1; AP = 1); 1; 0). \quad (15)$$

5.5. RESULTADOS OBTIDOS

Como referido e evidenciado no capítulo 4.2.1 o mês que mais se aproximou da produção, espectável, de energia elétrica foi o mês de outubro. Com o intuito de realizar uma simulação o mais real possível foi escolhido o mês de outubro para implementar a nova metodologia de funcionamento dos equipamentos selecionados.

5.5.1. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO INDIVIDUAL DOS SISTEMAS

Neste subcapítulo irá ser avaliado de forma individual o desempenho de cada equipamento, respeitando a nova metodologia de funcionamento, no funcionamento da central, isto é, mantendo o funcionamento atual dos equipamentos da central e implementando apenas o novo funcionamento do equipamento em seguida referido.

Sistema de produção de água tratada

O resultado da simulação presente no capítulo 5.4 permitiu simular graficamente a variação do novo nível de água tratada no tanque no mês de outubro:

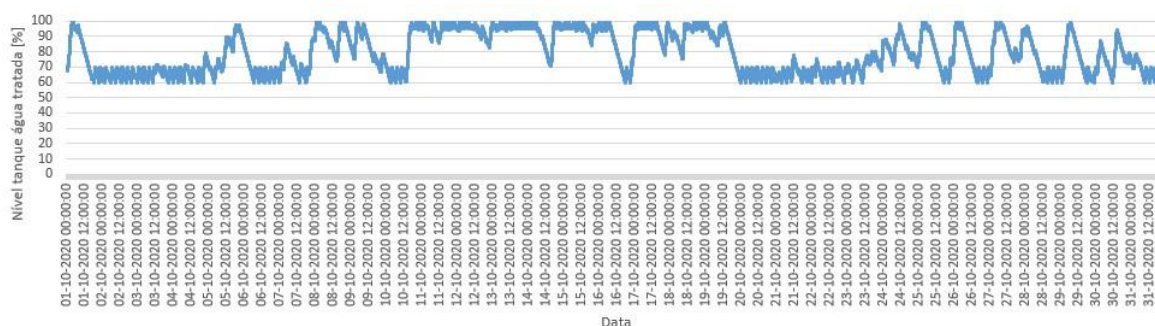


Figura 66 – Variação do novo nível do tanque de água tratada no mês de outubro

De acordo com os resultados obtidos da simulação, no mês de outubro, o tratamento de água iria funcionar 53 % do seu tempo com a válvula de *bypass* aberta, devido a ter sido atingido o limite de injeção na rede, enquanto que neste mês apenas funcionou 17.2 %.

Nas figuras seguintes, relativas a um período de tempo inferior ao da Figura 66, é possível verificar a evolução da variação do nível do tanque de água tratada e a sua relação com a abertura da válvula de *bypass* devia a ter sido atingido o limite de injeção na rede.

Na Figura 67 é possível verificar que o tratamento não reage sempre que a válvula de *bypass* abre devido a ter sido atingido o limite de injeção na rede, que ao ser atingido os 100 % de nível o sistema só entra novamente em funcionamento, no caso de existir ordem de funcionamento, quando o nível diminui até aos 95 %. Na Figura 68 verifica-se que sempre que existe ordem de funcionamento do sistema o mesmo funciona no mínimo 10 minutos e que no caso de não existir abertura da válvula de *bypass* o nível de água flutua entre os 60 e os 70 %.

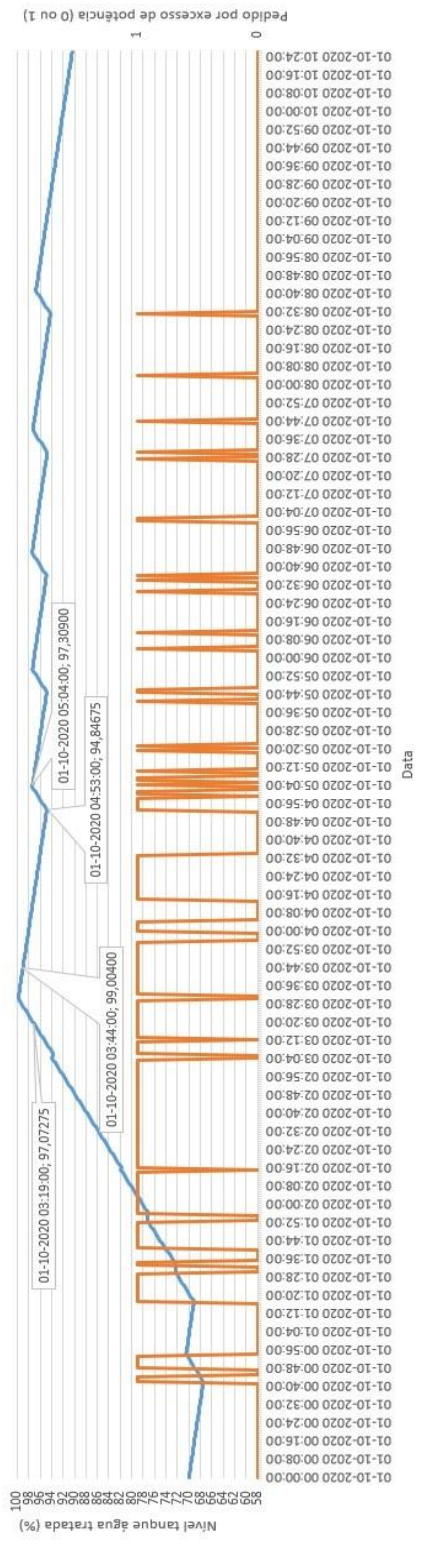


Figura 67 – Variação do novo nível do tanque de água tratada no mês de outubro (excerto 1)

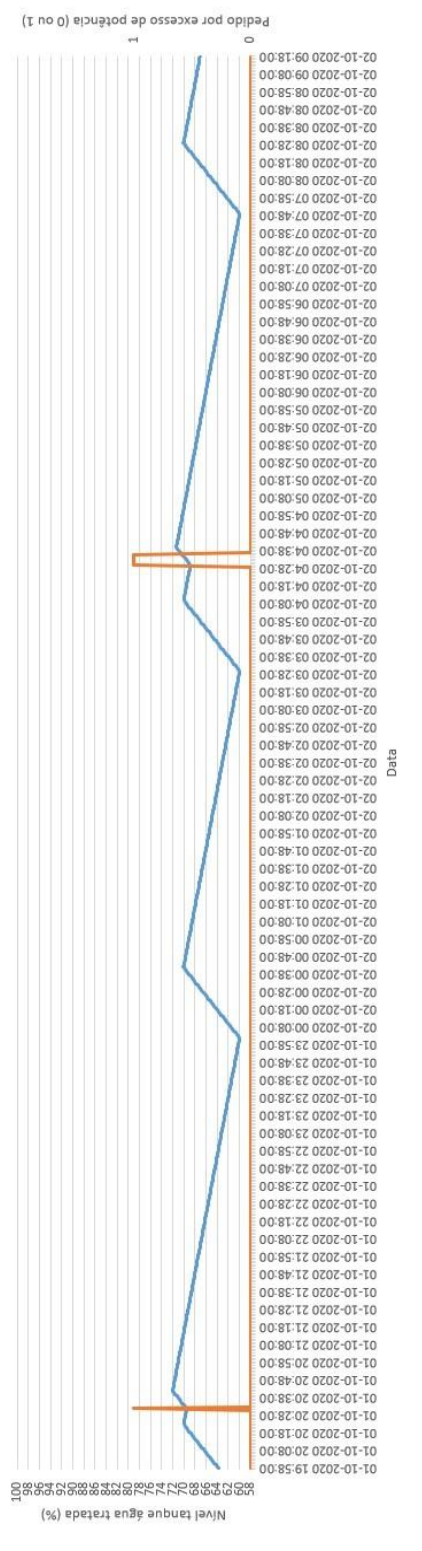


Figura 68 - Variação do novo nível do tanque de água tratada no mês de outubro (excerto 2)

Realizada a simulação do novo funcionamento do tratamento de água, e considerando que o funcionamento do triturador e do aquecimento de biomassa se mantêm inalterados, foi possível concluir que neste mês seria possível vender mais 3.18 MWh, o que significa um aumento da faturação em 350 euros apenas alterando a programação de funcionamento do sistema,(ver Tabela 5).

Tabela 5 – Válvula de bypass vs sistema tratamento de água mês de outubro

	Funcionamento atual	Novo funcionamento
Tempo de funcionamento coincidente com abertura da válvula de <i>bypass</i> devido a ter sido atingido o limite passível de ser exportado (%)	17,2	53
Aumento energia exportada (MWh)	0	3,18

Triturador

Através da simulação referida no subcapítulo 5.4 foi possível simular graficamente a nova variação de funcionamento do triturador no mês de outubro:

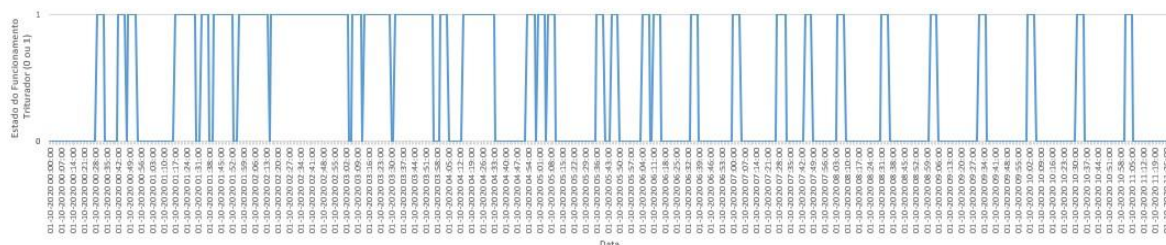


Figura 69 – Variação do estado de funcionamento do triturador de acordo com a nova simulação no mês de outubro

Comparando o gráfico relativo a situação atual de funcionamento do triturador, (ver Figura 31), com o resultado da nova simulação, (ver Figura 69), é possível verificar que no mesmo período, o triturador irá funcionar um número superior de vezes respeitando todas as condições referidas no fluxograma da Figura 39.

Foi assim possível obter os seguintes resultados através da simulação, considerando que só seria alterado o método de funcionamento deste equipamento:

Tabela 6 - Comparação entre o funcionamento atual e o funcionamento idealizado relativo ao triturador no mês de outubro

	Nº minutos de funcionamento (Situação Atual)	Nº minutos de funcionamento (Simulação)
Nº minutos de funcionamento	7440	14134
Nº minutos de funcionamento sem abertura da válvula de bypass (Limite de Injeção)	6135	5644
Nº minutos de funcionamento com abertura da válvula de bypass (Limite de Injeção)	1305	8490

De acordo com a Tabela 6, o triturador comparativamente ao funcionamento atual irá funcionar um tempo superior, se implementada a lógica da nova simulação. Tal poderá ser uma mais valia devido ao facto de se conseguir uma maior quantidade de biomassa triturada. Considerando a implementação deste novo método de funcionamento, mantendo o funcionamento atual do tratamento de água, e não implementando o sistema de aquecimento de biomassa, neste mês irá existir um défice de 0.35 MWh exportados para a rede, o que se reflete num prejuízo de cerca de 38 euros.

Aumentando o período de análise de um mês para, por exemplo, dois meses, admitindo que o funcionamento durante esse ano iria ser igual ao deste mês, seria possível manter o triturador desligado cerca de 5.5 meses, visto que segundo a lógica de funcionamento atual, o triturador ao funcionar 7440 minutos por mês é o suficiente para que o funcionamento da central não seja comprometido. De acordo com o referido, nos primeiros 6.5 meses iria existir um défice da energia exportada de cerca de 2.3 MWh, já nos 5.5 meses seguintes iria existir um incremento de 20.2 MWh. Este balanço ao final de um ano resultaria numa valorização de cerca de 1969 euros.

Sistema de aquecimento de biomassa

Através da simulação de acordo com o fluxograma da Figura 40, considerando o funcionamento atual do sistema de produção de água tratada e do triturador, foi possível concluir que neste mês este sistema iria funcionar 7779 minutos. Uma vez que nem sempre a percentagem de abertura do *bypass* é superior a potência do sistema de aquecimento, o que

implica que exista uma diminuição da energia injetada na rede. Esta diminuição representa um défice de cerca de 1,5 euros na valorização da energia vendida.

De acordo com a Figura 70 é possível verificar graficamente como seria a variação de funcionamento do equipamento:

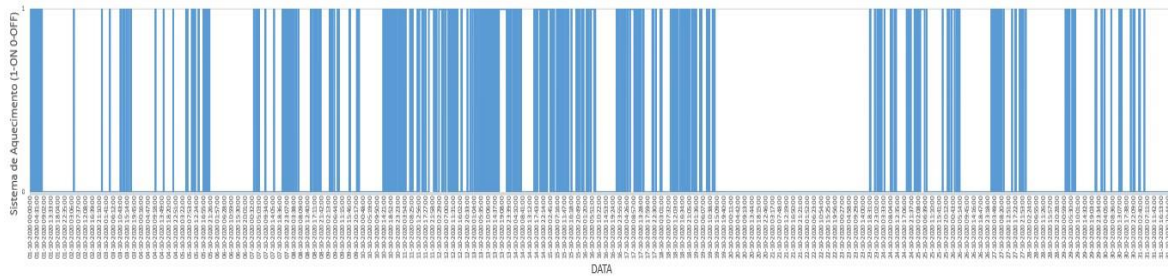


Figura 70 – Variação do funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa

De acordo com a Figura 70 é possível verificar que o sistema iria ter um funcionamento aleatório em que por exemplo entre o dia 20 e o dia 22 o sistema não iria ser acionado, o que dificilmente iria permitir aferir se este sistema poderá trazer alguma vantagem para a redução de humidade na biomassa.

Considerando a simulação de acordo com o fluxograma da Figura 41, foi possível verificar que o sistema iria funcionar no total de 25914 minutos, o que seria bastante superior ao resultado obtido anteriormente, 7779 minutos. Em contrapartida o seu funcionamento iria prejudicar em cerca de 274 euros a remuneração mensal do mês de outubro. O consumo total devido ao funcionamento do sistema neste mês seria de 3.5 MWh dos quais 1.1 MWh seriam aproveitados da energia desperdiçada pela válvula de *bypass* devido a ter sido atingido o limite imposto de exportação, (ver Tabela 7). Foi também estudado funcionamento contínuo do equipamento ao longo do mês o que resultaria num défice de faturação de 556 euros. Uma vez que não é conhecida a efetividade do funcionamento do sistema o autor decidiu que inicialmente era preferível diminuir o impacto que este poderá ter na produção da central dando preferência ao funcionamento de 10 em 10 minutos.

Tabela 7 - Tempo de funcionamento e valorização do sistema de aquecimento de biomassa

	Nº minutos de funcionamento	Valorização mensal (€)
Sistema de aquecimento de biomassa (<i>bypass</i>)	7779	-1,5
Sistema de aquecimento de biomassa (10 em 10 minutos)	25914	-274

Recorrendo a Figura 71 é possível verificar graficamente como iria ser a variação do funcionamento do equipamento, de acordo com o fluxograma da Figura 41, no mês em estudo, e verificar que o sistema não irá estar sem funcionar mais que 10 minutos e que no mínimo irá funcionar 10 minutos.

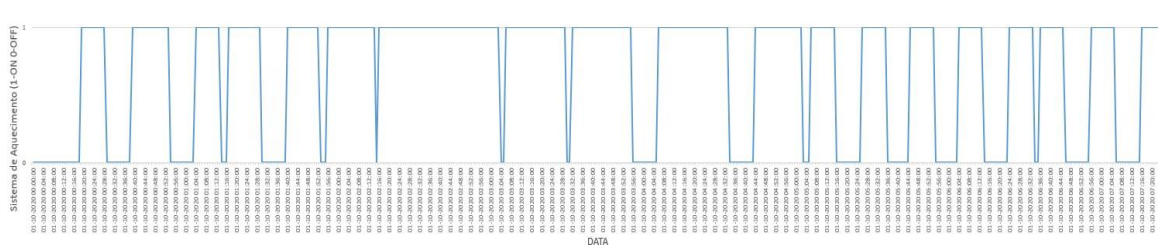


Figura 71 - Variação do estado de funcionamento do novo sistema de aquecimento de biomassa

5.5.2. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO COLETIVA DOS SISTEMAS

No subcapítulo anterior, foi analisada a nova metodologia de funcionamento dos três equipamentos de forma individual, isto é, considerando o funcionamento atual da central e alterando o funcionamento apenas de um equipamento com o objetivo de verificar a rentabilidade do novo funcionamento ao final do mês.

Com vista a aumentar o rendimento da central, recorrendo a ferramenta de simulação demonstrada no subcapítulo 5.4, foi importante verificar se o funcionamento em simultâneo dos equipamentos alvo de estudo, de acordo com a nova metodologia idealizada, se traduz em uma maior rentabilidade do que só considerar o novo funcionamento de um equipamento mantendo o funcionamento dos outros inalterado.

Na tabela seguinte são expostos os resultados obtidos da simulação em que quando apresentado “X” significa que a simulação do equipamento em questão foi realizada de acordo com os fluxogramas da Figura 38, Figura 39, Figura 40 e Figura 41, e quando

apresentado “-” significa que foi considerado o funcionamento atual do equipamento, sendo que no caso do sistema de aquecimento de biomassa não se encontra a funcionar, como já referido.

Tabela 8 - Tabela resumo relativa a análise do funcionamento em simultâneo da nova metodologia de funcionamento

	Nova ideologia de funcionamento do Tratamento de Água	Nova ideologia de funcionamento do Triturador	Ideologia de funcionamento do Sistema de Aquecimento respeitando apenas os momentos de abertura da válvula de bypass devido ao limite da potência injetada na rede	Ideologia de funcionamento do Sistema de Aquecimento (10 em 10 minutos)	Nº Minutos Funcionamento Triturador	Nº Minutos Funcionamento do Sistema de Aquecimento de biomassa	Valorização Mensal (EUROS) em relação ao funcionamento atual da central
Equipamento em funcionamento de acordo com a nova metodologia	X	X	X	-	15228	9591	210
	X	X	-	-	15228	-	244
	X	X	-	X	15228	26994	-51
	X	-	-	-	-	-	350
	X	-	X	-	-	9067	334
	X	-	-	X	-	26605	70
	-	X	-	-	14134	-	-38
	-	X	X	-	14134	8490	-58
	-	X	-	X	14134	26470	-296
	-	-	X	-	-	7779	-1,5
	-	-	-	X	-	25914	-274

Para realizar esta análise foi necessário realizar uma nova simulação, uma vez que ao analisar em simultâneo os sistemas, existe a possibilidade que a energia “desperdiçada” pela válvula não seja capaz de suprimir a totalidade do consumo do ou dos equipamentos que se pretendem ligar, e este facto vai afetar a quantidade total de energia injetada na rede no final do mês em análise. Analisando a Tabela 8 é possível verificar que as linhas 4, 7, 10 e 11 são relativas a análise da simulação individual dos equipamentos realizada no subcapítulo 5.5.1.

Inicialmente foi considerado o novo funcionamento dos três sistemas, considerando que o sistema de aquecimento de biomassa só irá funcionar quando a válvula de *bypass* abrir devido a ter sido atingida o limite de potência máxima possível de injetar na rede.

Relativamente a esta primeira análise, (ver Tabela 8, linha 1), foi possível concluir que seria possível obter um incremento da remuneração mensal de 210 euros. Para além do incremento de remuneração seria possível o triturador funcionar no total de 15228 minutos e o sistema de aquecimento funcionar no total de 9591 minutos. O tempo de funcionamento destes dois últimos equipamentos iria ser superior comparado com o seu funcionamento individual, anteriormente analisado, uma vez que os períodos em que o *bypass* irá estar aberto devido a ter sido atingido o limite máximo de injeção, serão diferentes porque para realizar esta simulação foi necessário incrementar ou na potência exportada ou na potência

“desperdiçada” pela válvula de *bypass*, o valor da potência dos equipamentos quando estes se encontravam em funcionamento.

Este incremento vai provocar um maior número de momentos de abertura da válvula devido a ter sido atingido o limite máximo de injeção na rede uma vez que a potência exportada no momento poderá estar perto do máximo admissível provocando a abertura da válvula. Foi também analisado o novo funcionamento dos três sistemas, mas desta vez considerando o funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa com um funcionamento obrigatório de 10 em 10 minutos, como simulado anteriormente, (ver Tabela 8, linha 3). Como resultado foi possível obter uma desvalorização, da energia exportada, de 51 euros, mas em contrapartida seria possível manter o sistema de aquecimento e o triturador em funcionamento 26994 e 15228 minutos, respetivamente.

De seguida foi considerado apenas o novo funcionamento do sistema de tratamento de água e do triturador, (Tabela 8, linha 2). Como resultado foi possível aumentar a remuneração, aumentando a energia exportada, em 244 euros. Para além deste incremento da valorização seria possível o triturador funcionar 15228 minutos neste mês.

Considerando apenas a implementação, (ver Tabela 8, linha 5), do novo funcionamento do tratamento de água, e implementado o funcionamento do sistema de aquecimento apenas nos momentos de excesso de energia, seria possível incrementar a faturação mensal em 334 euros sendo possível manter o sistema de aquecimento a funcionar ao longo do mês 9067 minutos. No caso, (ver Tabela 8, linha 6), de ser alterado o sistema de aquecimento para o funcionamento de 10 em 10 a faturação iria sofrer um aumento de 70 euros, e seria possível manter o funcionamento pretendido do sistema de aquecimento com o objetivo de determinar a sua eficiência.

No caso, (ver Tabela 8, linha 8), de se manter o sistema de tratamento de água de acordo com o seu funcionamento atual e alterar o funcionamento do triturador bem como implementado o funcionamento do sistema de aquecimento apenas nos momentos de excesso de energia, iria existir prejuízo na faturação, em relação ao mês de outubro, de 58 euros, embora seria possível manter o triturador em funcionamento e o sistema de aquecimento cerca de 14134 e 8490 minutos, respetivamente. No caso, (ver Tabela 8, linha 9), de ser alterado o sistema de aquecimento para o funcionamento de 10 em 10 minutos, a faturação iria sofrer um decréscimo, em relação ao funcionamento anterior, de 238 euros, mas em contrapartida seria

possível manter o sistema de aquecimento em funcionamento 26470 minutos e iria permitir uma análise com maior rigor relativamente a eficiência do sistema.

Existe ainda a possibilidade, devido a nova metodologia de funcionamento do triturador, de o mesmo ficar desligado em permanência, visto que atualmente funciona 7440 minutos por mês, assegurando as necessidades da central, e como resultado da simulação é possível praticamente obter o dobro do tempo de funcionamento, assegurando o dobro de biomassa triturada.

Tabela 9 - Tabela resumo nos casos em que não existe necessidade de colocar o triturador em funcionamento

	Nova ideologia de funcionamento do Tratamento de Água	Triturador	Ideologia de funcionamento do Sistema de Aquecimento respeitando apenas os momentos de abertura da válvula de bypass devido ao limite da potência injetada na rede	Ideologia de funcionamento do Sistema de Aquecimento (10 em 10 minutos)	Nº Minutos Funcionamento Triturador	Nº Minutos Funcionamento do Sistema de Aquecimento de biomassa	Valorização Mensal (EUROS) em relação ao funcionamento atual da central
Equipamento em funcionamento de acordo com a nova metodologia	X	DESLIGADO	X	-	DESLIGADO	9591	742
	X	DESLIGADO	-	-	DESLIGADO	-	759
	X	DESLIGADO	-	X	DESLIGADO	26994	480
	-	DESLIGADO	X	-	DESLIGADO	8490	402
	-	DESLIGADO	-	X	DESLIGADO	26470	146
	-	DESLIGADO	-	-	DESLIGADO	DESLIGADO	404

Na Tabela 9 é possível identificar as situações possíveis em que o triturador não irá funcionar devido a existir excesso de produção de biomassa triturada. No primeiro cenário é considerado o novo funcionamento do tratamento de água e a implementação do funcionamento do sistema de aquecimento nos momentos em que existe excesso de energia. Neste cenário, (ver Tabela 9, linha 1), é possível verificar que o sistema de aquecimento iria funcionar 9591 minutos e graças à energia injetada na rede ser superior é possível obter um incremento no final deste mês de 742 euros. No segundo cenário, (ver Tabela 9, linha 2), é considerado apenas o novo funcionamento do tratamento de água, excluindo a implementação do funcionamento do sistema de aquecimento. De acordo com este cenário seria possível injetar na rede o equivalente a 759 euros. Foi também considerado, (ver Tabela 9, linha 3), o novo funcionamento do tratamento de água e o funcionamento de 10 em 10 minutos do sistema de aquecimento. De acordo com esta simulação seria possível colocar o sistema de aquecimento em funcionamento 26994 minutos e injetar na rede o equivalente a 480 euros.

Nos três últimos cenários, é considerado o método de funcionamento atual do sistema de tratamento de água e o triturador desligado permanentemente, variando apenas o funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa que poderá apenas funcionar quando existir excesso de energia ou funcionar de 10 em 10 minutos ou estar permanentemente desligado. Considerando o novo funcionamento do sistema de aquecimento sempre que existe excesso de energia, (ver Tabela 9, linha 4), seria possível este funcionar 8490 minutos e aumentar a energia exportada em 402 euros, já no caso, (ver Tabela 9, linha 5), do sistema de aquecimento funcionar de 10 em 10 minutos seria possível estar funcionar 26470 minutos e aumentar a energia exportada em 146 euros por último no caso, (ver Tabela 9, linha 6), do sistema de aquecimento não funcionar seria possível aumentar a energia exportada em 404 euros.

5.5.3. GANHOS DE EFICIÊNCIA

De acordo com Tabela 8, considerando o aumento do rendimento da instalação sem degradação da rentabilidade atual da mesma e considerando que não existem evidências da efetividade do funcionamento do sistema de aquecimento de biomassa foram excluídas as simulações a sombreado da Tabela 10:

Tabela 10 - Tabela resumo relativa a análise do funcionamento em simultâneo da nova metodologia de funcionamento (exclusões)

	Nova ideologia de funcionamento do Tratamento de Água	Nova ideologia de funcionamento do Triturador	Ideologia de funcionamento do Sistema de Aquecimento respeitando apenas os momentos de abertura da válvula de bypass devido ao limite da potência injetada na rede	Ideologia de funcionamento do Sistema de Aquecimento (10 em 10 minutos)	Nº Minutos Funcionamento Triturador	Nº Minutos Funcionamento do Sistema de Aquecimento de biomassa	Valorização Mensal (EUROS) em relação ao funcionamento atual da central
Equipamento em funcionamento de acordo com a nova metodologia	X	X	X	-	15228	9591	210
	X	X	-	-	15228	-	244
	X	X	-	X	15228	26994	-51
	X	-	-	-	-	-	350
	X	-	X	-	-	9067	334
	X	-	-	X	-	26605	70
	-	X	-	-	14134	-	-38
	-	X	X	-	14134	8490	-58
	-	X	-	X	14134	26470	-296
	-	-	X	-	-	7779	-1,5
-	-	-	X	-	25914	-274	

Pelos motivos descritos no parágrafo anterior, as linhas 7, 8, 9, 10 e 11 da Tabela 10 foram excluídas uma vez que qualquer umas das situações presentes nas 6 primeiras linhas da Tabela 10 é mais favorável em relação ao aumento da rentabilidade da instalação.

Excluindo as últimas 5 linhas da Tabela 10 é possível verificar que no mês de outubro, a simulação que se traduziu num maior benefício monetário, 350 euros, para a instalação, foi apenas a implementação do novo sistema de tratamento de água, uma vez que a produção atual de material triturado é suficiente para o funcionamento da instalação e pelo facto não ser conhecida a efetividade do sistema de aquecimento de biomassa.

Considerando que existe possibilidade de armazenar a biomassa triturada em excesso, uma vez que a biomassa triturada é praticamente o dobro da que é triturada atualmente, tal promove o não funcionamento do triturador no mês seguinte, e considerando que existem recursos humanos para o fazer é possível obter os seguintes resultados com base nas tabelas anteriores:

Tabela 11 - Tabela resumo relativa a análise do funcionamento em simultâneo da nova metodologia de funcionamento (Preferências)

	Nova ideologia de funcionamento do Tratamento de Água	Nova ideologia de funcionamento do Triturador	Ideologia de funcionamento do Sistema de Aquecimento respeitando apenas os momentos de abertura da válvula de bypass devido ao limite da potência injetada na rede	Ideologia de funcionamento do Sistema de Aquecimento (10 em 10 minutos)	Nº Minutos Funcionamento Triturador	Nº Minutos Funcionamento do Sistema de Aquecimento de biomassa	Valorização Mensal (EUROS) em relação ao funcionamento atual da central	Aumento em Euros da potência exportada no final do primeiro mês	Aumento em Euros da potência exportada no final do segundo mês	Aumento em Euros da potência exportada no final de dois meses
Equipamento de funcionamento de acordo com a nova metodologia	X	X	X	-	15228	9591	210	210	742	952
	X	X	-	-	15228	-	244	244	759	1003
	X	X	-	X	15228	26994	-51	-51	480	429
	X	-	-	-	-	-	350	350	350	700
	X	-	X	-	-	9067	334	334	334	668
	X	-	-	X	-	26605	70	70	70	140

Na Tabela 11 é possível verificar que o valor da coluna “Aumento em Euros da energia exportada no final do primeiro mês” pode ser diferente do valor da coluna “Aumento em Euros da energia exportada no final do segundo mês”. Quando os valores das colunas são diferentes significa que o triturador no primeiro mês funcionou um número de minutos tal, que possibilita o não funcionamento no mês seguinte.

De acordo com a Tabela 11 a simulação que promove uma maior rentabilidade da instalação é a que está presente na segunda linha, em que é considerado o novo método de funcionamento do sistema de tratamento de água e do triturador, excluindo o funcionamento do sistema de aquecimento, promovendo assim um aumento da energia exportada equivalente a 1003 euros ao fim de dois meses. Considerando as condições anteriores, mas colocando o sistema de aquecimento em funcionamento, linha 1 e 3, seria possível um aumento de energia exportada de 952 e 429 euros ao fim de dois meses.

Relativamente as últimas três linhas da Tabela 11 em que o funcionamento do triturador é igual ao funcionamento atual do sistema, não existindo biomassa triturada em excesso, é possível verificar que considerando apenas a nova metodologia do sistema de tratamento de água seria possível aumentar a valorização ao final de dois meses em 700 euros, linha 4. Considerando as condições anteriores, mas colocando o sistema de aquecimento em funcionamento, linha 5 e 6 seria possível um aumento de energia exportada de 668 e 140 euros ao fim de dois meses.

De acordo com tudo foi referido, considerando o envolvimento do autor na central, considerando que a implementação da programação no autómato existente, presente no subcapítulo 5.3, seria algo relativamente exequível e que existe espaço e mão de obra disponível para o armazenamento da matéria triturada em excesso, o autor considera que existem duas simulações que prevalecem em relação a todas as outras.

Primeiramente deveria ser testada a situação presente na terceira linha da Tabela 11, uma vez que esta não prejudica o rendimento monetário em relação a situação atual, pelo contrário, considerando um período de dois meses, permitindo ao mesmo tempo avaliar o rendimento do sistema de aquecimento de biomassa, ao contrário do seu funcionamento apenas nos momentos de “desperdício” de energia.

Depois de aplicado no funcionamento atual da central os métodos de funcionamento descrito no parágrafo anterior, e concluindo que o sistema de aquecimento não provoca um

rendimento significativo na central, segundo o autor, deveria ser implementado na central a situação descrita na linha 2 da tabela anterior, que se traduz na situação que seria possível o maior aumento monetário apenas considerando a implantação da nova metodologia do sistema de produção de água tratada e do triturador.

No caso de se concluir a não efetividade do sistema de aquecimento, e de se verificar que a logística associada a acumulação de material triturado, para o mês seguinte, é algo complicado, o autor sugere a implementação da solução presente na linha 4 da Tabela 11, que se traduz apenas na implementação do novo método de funcionamento do sistema de tratamento de água, que promove um aumento da energia exportada equivalente a 700 euros.

5.5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com as medidas de melhoria propostas, refletidas nos fluxogramas desenvolvidos pelo autor, para a otimização do funcionamento dos equipamentos em estudo com o objetivo de rentabilizar os excedentes de produção na central termoelétrica, abertura da válvula de bypass nos momentos em que é atingido o limite máximo da potência injetada na rede elétrica, foi possível verificar que estas, de acordo com as várias simulações, permitiriam aumentar a rentabilidade da central no mês de outubro.

A lógica desenvolvida relativa as medidas de melhoria propostas para o funcionamento dos equipamentos proporciona o armazenamento de energia numa forma não elétrica, uma vez que possibilita o funcionamento dos mesmos nos momentos de abertura da válvula de bypass devido a ter sido atingido o limite máximo de energia passível de ser exportado para a rede, o que vai provocar que em momentos menos favoráveis de produção da instalação estes não funcionem o que irá diminuir os consumos internos. Nas medidas de melhoria foram contempladas as características obrigatórias a serem respeitadas pelos equipamentos, que no caso do sistema de produção de água tratada, este terá de funcionar sempre que acionado 10 minutos e que o nível do tanque de água tratada nunca poderá ser inferior a 60 % uma vez que só assim será possível garantir a paragem em segurança do sistema gerador de vapor em caso de alguma anomalia. No caso do triturador foi considerado que este terá de pelo menos garantir o funcionamento atual, 5 minutos a cada 25 minutos, uma vez que a quantidade resultante de biomassa triturada é suficiente para o funcionamento da instalação.

Os resultados obtidos através das várias simulações para o mês de outubro, considerando a aplicação da nova metodologia de funcionamento num equipamento, deixando os restantes sem alteração e considerando a aplicação da nova metodologia de funcionamento nos três equipamentos, permitiram determinar qual seria a melhor conjugação de equipamentos a implementar a nova metodologia de funcionamento com vista a aumentar o rendimento da central.

Dos resultados obtidos considerando uma análise de dois meses, visto que o total de biomassa triturado num mês poderá segurar a quantidade necessária para o mês seguinte o que possibilita o não funcionamento do equipamento nesse mês, foi possível concluir que a rentabilidade máxima possível de ser atingida resulta da aplicação nova metodologia de funcionamento ao sistema de produção de água tratada e ao triturador.

Seria também possível aferir a eficiência do sistema de aquecimento de biomassa, funcionamento de 10 em 10 minutos, sem comprometer a rentabilidade da central. Assim como resultado das várias simulações considerando um período de análise igual ao referido no parágrafo anterior, a situação que garantiu uma maior rentabilidade para o mês em estudo, foi considerando a implementação da nova metodologia de funcionamento do sistema de produção de água tratada e do triturador bem com a implementação do funcionamento, 10 em 10 minutos, do sistema de aquecimento de biomassa.

6. CONCLUSÕES

6.1. ASPETOS CONCLUSIVOS

O trabalho desenvolvido presente neste documento teve como objetivo desenvolver e simular um conjunto algoritmos que possibilitasse a rentabilização dos excedentes de produção da central termoelétrica de combustão a biomassa, devido á operação, características e atrasos nas reações de todo o processo térmico.

A realização deste trabalho permitiu perceber que de facto é possível otimizar a eficiência energética da central, através do “armazenamento” de energia elétrica, proveniente da energia térmica que iria ser desperdiçada pela válvula de *bypass* existente na instalação.

O trabalho realizado teve diferentes fases. Na primeira etapa foi necessário compilar todas as variáveis necessárias, da base de dados da instalação, bem como analisar e compreender todos os dados obtidos. A segunda etapa consistiu na elaboração das equações necessárias que permitissem relacionar o caudal de vapor, a percentagem de abertura da válvula de *bypass* e potência gerada. Em seguida foi desenvolvida a nova lógica de funcionamento para os equipamentos com recurso a fluxogramas, para que fosse possível realizar a simulação de acordo com a nova metodologia implementada. Realizada a simulação com vista a abranger todos os cenários possíveis, foi desenvolvida a programação possível de ser implementada no *PLC* da central, respeitando os fluxogramas desenvolvidos.

Este trabalho teve algumas etapas difíceis de realizar, destacando a interpretação dos dados obtidos, visto que a central se encontrou com alguns problemas de funcionamento o que dificultou a sua análise.

Em suma a elaboração deste trabalho contribuiu para o aprofundamento do conhecimento relativo à área curricular do autor, do desenvolvimento do seu espírito crítico bem como da sua ampliação de conhecimentos, designadamente na área de mecânica dos fluídos.

6.2. PERSPETIVAS FUTURAS

No futuro o autor sugere a implementação das soluções definidas como “mais rentáveis”, resultantes da simulação realizada, com o objetivo de avaliar na realidade o impacto que estas irão ter no aumento de eficiência do funcionamento da instalação. A implementação servirá também para otimizar o funcionamento dos algoritmos desenvolvidos. Sugere-se também a centralização de todos os equipamentos no *PLC* principal da instalação, uma vez que assim será mais fácil a implementação/modificação dos algoritmos de funcionamento dos equipamentos existentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Ambient air pollution,” 2020. [Online]. Available: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/air-quality-and-health/ambient-air-pollution>. [Acedido em 06 11 2020].
- [2] DGEG e ADENE, “Energia em números,” 2020.
- [3] APREN, “Boletim Eletricidade Renovável,” 2020.
- [4] “Inventário Florestal Nacional 6ª edição,” 2019. [Online]. Available: <https://www.icnf.pt/noticias/inventarioflorestalnacional>. [Acedido em 07 11 2020].
- [5] DGEG, “Balanço Energético,” 2019.
- [6] DGEG, “Renováveis,” 2020.
- [7] “Plano Nacional e Clima 2021-2030,” 2021.
- [8] UNFCCC, “Clarifications on Definition of Biomass and Consideration of Changes in Carbon Pools Due To a CDM Project Activity,” 2019.
- [9] UNFCCC, “Definition of Renewable Biomass,” 2019.
- [10] “Energy generation from biomass,” 2020. [Online]. Available: http://portaleducoas.org/ciudadessostenibles/ingles/energy/energia_biomasa.
- [11] D. Santos, I. Gulyurtlu e I. Cabrita, “Materiais e Energia: Conversão Termoquímica de Combustíveis,” vol. 29, nº 3, p. 13, Janeiro 2010.
- [12] V. Belgiorno, G. De Feo, C. Della Rocca e R. Napoli, “Energy from gasification of solid wastes,” pp. 2-9, Setembro 2003.
- [13] C. Manuel Pinho, Combustão, Departamento de Engenharia Mecânica, FEUP, 2011.
- [14] P. Mckendry, “Energy production from biomass (part 1): overview of Biomass,” pp. 37-46, 2002.
- [15] A. Catarina Ferreira, “Caracterização de vários tipos de biomassa para valorização energética,,” Universidade de Aveiro, 2013.
- [16] Y. A. Çengel e M. A. Boles, Thermodynamics An Engineering Approach, 5 ed.
- [17] F. Oliveira Dos Santos Silva, “Impacto da cogeração na minimização dos custos de energia elétrica,” ISEP, 2014.

- [18] C. Manuel Pinho, Gestão de Energia Térmica, Departamento de Engenharia Mecânica, FEUP, 2015.
- [19] “Ciclo de Rankie,” 2020. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ciclo_Rankine. [Acedido em 05 12 2020].
- [20] C. Manuel Pinho, Sistemas Térmicos, Departamento de Engenharia Mecânica, FEUP, 2014.
- [21] P. Mckendry, “Energy production from biomass (part 2): conversion technologies,” pp. 47-54, 2002.
- [22] Z. Radics e P. Csaba, Biomass, Module 3: Open Educational Resources for online course of renewable energy for local development, Gyöngyös, 2016.
- [23] J. Kitto e S. Stultz, The Babcock & Wilcox Company – Steam its generation and use 41nd Editions., The Babcock & Wilcox Comp, 2005.
- [24] “Boiler Blowdown types and Boiler Blowdown calculation,” Julho 2019. [Online]. Available: <https://boilersinfo.com/boiler-blowdown-types-and-boiler-blowdown-calculation>. [Acedido em 13 12 2020].
- [25] “Reverse osmosis demineralization,” 2020. [Online]. Available: <https://www.lenntech.com.pt/processes/reverse-osmosis-demineralization.html>. [Acedido em 15 12 2020].
- [26] P. Azevedo, “Osmose Inversa,” Dezembro 2014. [Online]. Available: <https://www.hidraulicart.pt/osmose-inversa>. [Acedido em 20 12 2020].
- [27] C. A. K. Gouvêa, A. L. B. Hurtado, R. F. Borzio e M. Folletto, “Use of Water Processed By Reverse Osmosis for Vapor Generation in Tobacco Industry,” vol. 12, nº 2, pp. 522-536, Junho 2012.
- [28] “Boiler feed water,” 2020. [Online]. Available: <https://www.lenntech.com/applications/process/boiler/boiler-feed-water.html>. [Acedido em 20 12 2020].
- [29] U. D. o. Energy, “Deaerators in Industrial Steam Systems,” 2012.
- [30] WIKIPEDIA, “Deaerator,” Setembro 2018. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Deaerator>. [Acedido em 20 12 2020].
- [31] S. Bhatia, Advanced Renewable Energy Systems Part I, Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2014.

[32] Siemens, “Programming Guidelibe for S7-1200/S7-1500,” 2018.

