

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM TECNOLOGIAS COMPUTACIONAIS PARA O AGRONEGÓCIO**

EDILIO MOACIR ANTONIOLLI

**DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UM QUEIMADOR DE
BIOMASSA AUTOMATIZADO COM MICROCONTROLADOR
DISSERTAÇÃO**

MEDIANEIRA

2019

EDILIO MOACIR ANTONIOLLI

**DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UM QUEIMADOR DE
BIOMASSA AUTOMATIZADO COM MICROCONTROLADOR**

DISSERTAÇÃO

Dissertação de Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus Medianeira, como requisito parcial ao programa de pós graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio.

Orientadora: Prof^a. Dra. Fabiana Costa de Araujo Schütz

Co-Orientador: Prof. Dr. Pedro Luiz de Paula Filho

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

| | |
|--------|--|
| AN635d | <p>Antoniolli, Edilio Moacir</p> <p>Desenvolvimento e construção de um queimador de biomassa automatizado com microcontrolador / Edilio Moacir Antoniolli– 2019. 68f. : il. ; 30 cm.</p> <p>Texto em português com resumo em inglês Orientadora: Fabiana Costa de Araujo Schütz Coorientador: Pedro Luiz de Paula Filho</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o agronegócio, 2019. Inclui bibliografias.</p> <p>1.<u>Biocombustíveis</u>. 2. Agricultura e energia. 3. Resíduos como combustível. 4. Tecnologias Computacionais para o Agronegócio – Dissertações.I. Schütz, Fabiana Costa de Araújo, orient. II. Paula Filho, Pedro Luiz de, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias computacionais para o agronegócio. III. Título.</p> <p>CDD: 004</p> |
|--------|--|

Biblioteca Câmpus Medianeira

Fernanda Bem 9/1735

**MEDIANEIRA
2019**

Ministério da Educação



Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Mestrado em Tecnologias Computacionais para ¹
o Agronegócio



TERMO DE APROVAÇÃO

**DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO DE UM QUEIMADOR DE BIOMASSA
AUTOMATIZADO COM MICROCONTROLADOR**

Por

Edilio Moacir Antonioli

Esta Dissertação foi apresentada no dia 04 de Novembro 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a. Dra. Fabiana Costa de Araujo Schutz
(orientadora) UTFPR – Câmpus Medianeira - PR.

Prof. Dr. Pedro Luiz de Paula Filho
(co-orientador) UTFPR – Câmpus Medianeira - PR.

Prof. Dr. Camilo Freddy Mendoza Morejon
UNIOESTE – Câmpus Toledo - PR.

Prof. Dr. Paulo Cesar Tonin
UTFPR – Câmpus Medianeira - PR.

Prof. Dr. José Ailton Azevedo dos Santos
UTFPR – Câmpus Medianeira - PR.

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso-.

AGRADECIMENTOS

Aos professores orientadores, pela dedicação por todas as etapas deste trabalho.

A minha família, pelo incentivo, pela colaboração, confiança e motivação.

Aos professores, pela concessão de informações valiosas para a realização deste estudo.

A todos que, com boa intenção, colaboraram para a realização e finalização deste trabalho.

"Se existe uma forma
de fazer melhor, descubra-a."

Thomas Edson

RESUMO

ANTONIOLLI, Edilio Moacir. **Desenvolvimento e construção de um queimador de biomassa automatizado com microcontrolador**: 2019. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Os pellets de biomassa são sólidos prensados em formato cilíndrico e padronizados, provenientes de rejeitos industriais ou subprodutos agroindustriais, e devido ao seu baixo custo, destacam-se entre a lenha e o óleo diesel. Aos poucos os pellets de biomassa estão substituindo os combustíveis fósseis na geração de energia renovável, com o uso de equipamentos compactos e diminuição dos poluentes liberados na sua combustão. As matérias-primas para a confecção da biomassa precisam ter celulose, hemicelulose e lignina, sendo importante também o poder calorífico, carbono fixo e o teor de cinzas. Em equipamentos pequenos, o abastecimento contínuo, temperatura de combustão, umidade, poder calorífico e fornecimento de ar primário e secundário estão relacionados com a combustão incompleta e as emissões de poluentes atmosféricos. Para uma queima completa deve-se ter um arranjo homogêneo do fluxo de gás e temperatura, uma relação ar/combustível adequada, evitando as deficiências de oxigênio, baixa temperatura, mistura insuficiente e pequena estadia dos gases na câmara de combustão. O estudo apresentado nesse projeto abrange pequenos queimadores de *pellets* que são utilizados para gerar calor no aquecimento de ar e na geração de água quente ou vapor em trocadores de calor, sendo o desenvolvimento do protótipo do queimador direcionado pelos objetivos explorando as considerações e os aperfeiçoamentos para os problemas a serem melhorados como: alimentação automática gradual para o combustível, local adequado para a introdução do ar primário e secundário, prever um mecanismo de controle para a regulação do excesso de ar, manter os gases de combustão o tempo necessário para a queima completa e prever o deslocamento das cinzas. O desenvolvimento do projeto visa também: reduzir o desperdício de combustível, as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), ácido sulfúrico (SO₂), e cinzas; manter uma temperatura da combustão apropriada para melhorar a geração de calor e arrefecer os pontos críticos que influenciam na vida útil.

Palavras-chave: Pellets; Emissões; Combustão de biomassa.

ABSTRACT

ANTONIOLLI, Edilio Moacir. **Development and construction of an automated biomass burner with microcontroller**: 2019. Trabalho de Dissertação (Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Biomass pellets are cylindrical and standardized pressed solids from industrial waste or agro-industrial by-products and, due to their low cost, stand out between wood and diesel oil. Biomass pellets are gradually replacing fossil fuels in the generation of renewable energy, with the use of compact equipment and the reduction of the pollutants released in their combustion. The raw materials for making the biomass need to have cellulose, hemicellulose and lignin, being also important calorific value, fixed carbon and ash content. In small equipments, continuous supply, combustion temperature, humidity, calorific value and primary and secondary air supply are related to incomplete combustion and emissions of air pollutants. For a complete firing it is necessary to have a homogeneous arrangement of gas flow and temperature, an adequate air/fuel ratio, avoiding oxygen deficiencies, low temperature, mixing insufficient and short time of the gases in the combustion chamber. The study presented in this project covers small pellet burners that are used to generate heat in the heating of air and in the generation of hot water or steam in heat exchangers, being the development of the prototype of the burner being directed by the objectives exploring the considerations and the improvements to the problems to be improved as gradual automatic fuel feed, a suitable place for the introduction of primary and secondary air, provision of a control mechanism to regulate excess air, maintaining the combustion gases for as long as is necessary for complete burning and foreseeing ash displacement. The project development also aims to reduce fuel waste, carbon monoxide (CO), nitrogen oxide (NO_x), sulfuric acid (SO₂), and ash emissions; maintain an appropriate combustion temperature, to improve heat generation and cool critical points that influence service life.

Key-words: Pellets; Emissions; Combustion of biomass.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura 1 - | Produção industrial de pellets de madeira | 21 |
| Figura 2 - | Tipos de queimador de pellets | 23 |
| Figura 3 - | Alimentação: inferior, horizontal e superior | 24 |
| Figura 4 - | Queimador de bocal circular | 24 |
| Figura 5 - | Queimador de bocal retangular | 25 |
| Figura 6 - | <i>Wood pellet burner</i> | 27 |
| Figura 7 - | <i>Rotary water-cooled spray</i> | 28 |
| Figura 8 - | <i>Burner for pellets</i> | 29 |
| Figura 9 - | <i>Burner for pellets</i> | 29 |
| Figura 10 - | <i>Packing auger device special for biomass particle burner</i> | 30 |
| Figura 11 - | <i>Burner</i> | 31 |
| Figura 12 - | <i>Rotary type burner</i> | 31 |
| Figura 13 - | <i>Inner cylinder rotating type biomass particle burner</i> | 32 |
| Figura 14 - | Biomass energy burner | 33 |
| Figura 15 - | Vista lateral do queimador de pellets | 42 |
| Figura 16 - | Vista superior do queimador de pellets | 42 |
| Figura 17 - | Vista superior do queimador de pellets | 43 |
| Figura 18 - | Vista posterior do queimador de pellets | 43 |
| Figura 19 - | Vista frontal do queimador de pellets | 44 |
| Figura 20 - | Fluxograma para programação | 49 |
| Figura 21 - | Queimador de Biomassa | 50 |
| Figura 22 - | Queimador de Biomassa | 50 |
| Figura 23 - | Módulo do Arduíno | 51 |
| Figura 24 - | Queimador de bocal circular | 51 |
| Figura 25 - | Queimador de pellets circular | 52 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------|---|----|
| Tabela 1 - | Comparação entre patentes e queimador de biomassa. | 45 |
| Tabela 2 - | Resultados entre temperaturas (S.NTC), (TempAnt) e tempo alimentação. | 62 |

LISTA DE SIGLAS

| | |
|-----------------|--|
| CO | - Monóxido de Carbono |
| CO ₂ | - Dióxido de Carbono |
| NO _x | - Óxidos de Nitrogênio |
| SO ₂ | - Ácido Sulfúrico |
| COG | - Carbono Orgânico Gasoso |
| Kg | - Quilograma |
| R\$ | - Reais (moeda) |
| % | - Porcentagem |
| m ³ | - Metro cúbico |
| in | - Polegada |
| l | - Litro |
| SAE | - <i>Society of Automotive Engineers - EUA</i> |
| Kcal | - Quilocaloria - Unidade de Energia |
| Bar | - Bar - Unidade de pressão |
| CV | - Cavalo Vapor - Unidade de Potência |
| C++ | - Linguagem de Programação |

LISTA DE SÍMBOLOS

P - Perímetro

d - Diâmetro

π - Constante pi; $\pi = 3,1416$

p - Passo da helicoide

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 14 |
| 2. JUSTIFICATIVA | 16 |
| 3. OBJETIVOS | 20 |
| 3.1 OBJETIVO GERAL..... | 20 |
| 3.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 20 |
| 4. REVISÃO DE LITERATURA | 21 |
| 4.1 BUSCA DE ANTERIORIDADES | 26 |
| 5. MATERIAIS E MÉTODOS | 36 |
| 5.1 Etapas para a Construção do Protótipo..... | 36 |
| 5.2 Construção do Protótipo..... | 37 |
| 6. RESULTADOS | 42 |
| 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 53 |
| CONCLUSÃO | 56 |

1. INTRODUÇÃO

Uma forma de obter otimização de produtos e processos, na busca por soluções que direcionam as pesquisas, demonstram que ao começar com ideias simples chega-se a bons resultados na geração de energia térmica em caldeiras ou produção de aquecimento de ar em trocadores de calor.

A geração de calor está fortemente relacionada a queima de biomassa *in natura* em equipamentos com a utilização de mão de obra manual, com baixo rendimento e emissões elevadas de poluentes atmosféricos. A preservação dos recursos naturais disponibiliza oportunidades de pesquisas ligadas ao reaproveitamento de resíduos.

Resíduos como a serragem, cascas de produtos agrícolas etc, que a pouco tempo eram um problema para o descarte, com contaminação ambiental, proliferação de insetos, roedores e odores, hoje são usados como fontes de energia renovável, originando os biocombustíveis de biomassa.

Os *pellets* são um biocombustível ecológico e realizam o ciclo de carbono, que aos poucos vai substituindo os combustíveis derivados do petróleo na geração de calor, e por ser um produto acondicionado em embalagem plástica não retém umidade e é facilmente transportado e armazenado, apresentando vantagem em relação a madeira. A utilização de fontes de energia sustentável vem ao encontro das necessidades para alcançar as alternativas para reduzir o aquecimento global. A energia sustentável mais comum é a da biomassa, largamente aproveitada para substituir a energia proveniente dos combustíveis fósseis (MCKENDRY 2001).

Equipamentos que utilizavam a madeira, o óleo diesel ou o gás para a geração de calor, estão aos poucos sendo substituídos por aparelhos automáticos, compactos com a combustão de pellets e emitindo menos poluentes atmosféricos. Para a automatização da alimentação na queimada pellets tem-se três formas de fornecimento de combustível, são elas: inferior, horizontal e superior, possibilitando a construção de aparelhos horizontais ou verticais. Para a combustão dos pellets pode-se utilizar dois tipos de queimadores, de bocal ou de cuba.

Nos queimadores de bocal circular, um cilindro interno com furos torna-se a câmara de combustão e um cilindro externo constitui acápsula para a condução do ar de alimentação, proveniente de um ventilador, uma rosca helicoidal acoplada a

um motorreductor faz a alimentação dos pellets, as altas temperaturas na câmara de combustão fundem as cinzas e provocam entupimento ocasionado pelas incrustações. O excesso de alimentação de ar provoca o lançamento de combustível não queimado para fora do bocal, a pequena conservação dos gases na câmara de combustão libera o desprendimento de materiais voláteis não queimados.

Tendo em vista a necessidade de crescimento da geração de energia térmica com a preservação ambiental pelo meio da compatibilização do desenvolvimento, a biomassa é utilizada como recurso de energia renovável, e emite determinados poluentes na sua combustão da mesma forma que os outros combustíveis. Porém, as emissões provenientes da utilização dos biocombustíveis são normalmente conceituadas como amiga da natureza, sendo necessário compreender os tipos de emissões, seus impactos ambientais, e os efeitos para a saúde com o propósito de diminuí-lo ou minimizá-lo (MLADENOVIC, PAPRIKA, MARINKOVIC, 2017).

O projeto inadequado de um queimador contribui à combustão incompleta, possibilitando um menor volume de gases quentes gerados na transformação de energia química em energia térmica, diminuindo assim o aproveitamento térmico, aumentando as emissões de: monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), ácido sulfúrico (SO₂) e cinzas, diminuindo a temperatura do gás de combustão e a eficiência. As características dos *pellets* como: umidade, densidade de compactação, poder térmico e cinzas, possuem influência sobre a combustão, a quantidade do excesso de ar, necessário para evitar a emissão de monóxido de carbono (CO), e a manutenção de uma temperatura de combustão adequada para impedir as emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x) e ácido sulfúrico (SO₂).

Nesse contexto, o presente estudo propõe o desenvolvimento e a construção do protótipo de um queimador de pellets de biomassa como combustível para produzir energia térmica, com alimentador e insuflamento de ar, automatizado com ênfase para extinguir as incrustações, favorecer uma queima sem as emissões de contaminantes ambientais, amenizar a geração de material volátil não queimado, aumentar a vida útil dos componentes, minimizar os custos de fabricação e melhorar o aproveitamento térmico.

2. JUSTIFICATIVA

Com o surgimento da caldeira iniciou-se a utilização da biomassa como fonte de energia, gerando eletricidade, movimentando as máquinas nas indústrias, desenvolvendo o transporte terrestre e marítimo. Muitos anos depois, o petróleo substituiu o uso de biomassa, mas os efeitos negativos e os valores elevados dos produtos derivados, aos poucos são substituídos por alternativas que geram menos poluentes e com melhor aproveitamento da fonte energética. Atualmente, utilizam-se os derivados de petróleo, a biomassa e os seus subprodutos em equipamentos desenvolvidos com maior rendimento e com menos emissões prejudiciais ao meio ambiente. Dos subprodutos da biomassa os pellets vêm substituindo o uso da biomassa *in natura* (lenha), destacando-se pela tecnologia mais eficiente empregada na queima para a geração de energia limpa e ecológica.

Fazendo um comparativo entre os valores dos combustíveis disponíveis, tem-se: o preço da lenha é comercializada por aproximadamente R\$50,00 o metro cúbico com peso específico entre 600kg/m³ a 800kg/m³, sendo de R\$0,07/kg, com um teor de umidade de até 50% e apresenta um poder térmico de aproximadamente 2300kcal/kg; o custo dos pellets de madeira é de aproximadamente R\$0,60/kg e possui um poder térmico de aproximadamente 4000kcal/kg; outra fonte de energia disponível seria o óleo diesel, que encontra-se por aproximadamente R\$3,60 o litro com peso específico de 0,86kg/l, sendo de R\$4,20/kg e com poder térmico de aproximadamente 10000kcal/kg, para gerar uma quantidade de 100.000kcal. Os custos gerais coletados são:

$$\text{para a Lenha } \frac{100000}{2300} = 43,5 \text{kg} \times \text{R\$}0,07 / \text{kg} = \text{R\$}3,00$$

$$\text{para os Pellets } \frac{100000}{4000} = 25 \text{kg} \times \text{R\$}0,60 / \text{kg} = \text{R\$}15,00$$

$$\text{Para o Óleo Diesel } \frac{100000}{10000} = 10 \text{kg} \times \text{R\$}4,20 = \text{R\$}41,80$$

A lenha apresenta um custo menor, mas com sistemas de alimentação manual, onde a alimentação é feita em intervalos mais longos, geralmente enche-se a fomalha para não ficar seguidamente repondo o combustível queimado ou disponibiliza-se uma pessoa para cuidar, o que seria o mais indicado, pois com a fomalha cheia a chama demora a começar a gerar calor e quando está vazia a mesma não tem combustível para queimar. No começo a relação

ar/combustível é rica, ou seja, tem muito combustível e pouco ar e quando não tem combustível tem excesso de ar. A qualidade da lenha possui influência sobre o poder calorífico, onde lenha dura tem poder calorífico maior, gerando mais calor. De acordo com Silva (2001), a quantidade de umidade invisível contida nos combustíveis diminui o poder calorífico e exige uma temperatura mais alta à pré-ignição, liberando menos calor na combustão, pois consome energia para transformar a umidade em vapor. A alimentação é tipicamente manual, descontínua e contribui para a variação no fornecimento de calor. São equipamentos com baixo rendimento, são grandes e pesados apresentando dificuldades no transporte.

Segundo Collato (2015), o óleo diesel por possuir alto poder calorífico é outra fonte de geração de calor. O queimador a diesel é totalmente automático, possui uma bomba para a pressurização do óleo diesel, um bico de pulverização e acendimento automático do fogo e sistema de segurança para a falta de fogo. Mas por ser um combustível derivado do petróleo, o diesel possui emissões acentuadas de contaminantes químicos e o valor final é elevado.

As vantagens da utilização da biomassa para geração de energia compreende: a diminuição nas emissões de óxido de carbono (CO_2); diminuição da queima de combustíveis fósseis; redução na formação de ácido sulfúrico (SO_2) através da redução do enxofre relacionado ao combustível e diminuição na geração de óxidos de nitrogênio (NO_x) através da redução do nitrogênio relacionado ao combustível (RASTVOROV; OSINTSEV; TOROPOV, 2017).

A utilização de resíduos orgânicos e agrícolas como alternativas provenientes das emissões de combustíveis queimados em aterro sanitário ou a céu aberto, e assim, de modo a converter-se em fonte de receita para os elementos envolvidos. A biomassa possui um potencial importante para ser aproveitada como uma energia sustentável e renovável para a produção de bioenergia. (PRADHAN; MAHAJANI; ARORA, 2018).

Os queimadores de pellets, possuem alimentação automática de biomassa através de uma rosca helicoidal acionada por um motorreductor, controlado por um relé cíclico temporizado que liga por um tempo e fica desligado por um segundo tempo, fornecendo o combustível para a queima, onde um silo armazena o suprimento para a sua autonomia e suprimento de ar através de um ventilador. Se comparado com o queimador a óleo diesel, que possui uma bomba que pressuriza o óleo diesel e um bico calibrado que pulveriza o óleo para alterar a geração de calor,

altera-se a pressão ou troca-se o bico pulverizador, enquanto o queimador a pellets, altera-se o tempo de alimentação e o tempo sem alimentação no relé. 2,5 kg de pellets de madeira substituem cerca de 1 litro de óleo no aquecimento.

A seleção da fonte de energia deve considerar, de acordo com Collatto (2015), aspectos técnicos, ambientais e sociais, como o custo do combustível e investimentos na instalação, a eficiência energética do projeto e melhorias na operação, elevando a qualidade de vida dos trabalhadores.

Do ponto de vista energético, apesar da produção dos *pellets* de madeira ser pouco eficiente, com os seus processos de secagem e paletização, equivalente a menos de 2% do teor em energia do produto pronto, este é aparentemente mais correto do que as fontes de energia derivada do petróleo, as quais ficam entre 10 a 12% da sua energia para a purificação e destilação (BIOENERGIA, 2002; MAZAU, 2017). Pela análise perde-se de 8 a 10% da energia presente nos combustíveis fósseis que são liberados em forma de calor, liberando poluentes atmosféricos e contribuindo para o aquecimento global.

A construção de queimadores de pellets de biomassa tem como característica principal a utilização de um silo de armazenamento de pellets, uma rosca helicoidal movida por um motorreductor para a alimentação dos pellets, que pode ser superior, horizontal ou inferior que desloca o combustível até a câmara de combustão para a queima. A câmara de combustão pode ser de cuba ou de bocal, em formato circular ou retangular. Os queimadores de bocal do tipo retangular são feitos com o formato de uma calha aberta na parte frontal acoplada ao tubo do alimentador na sua parte posterior e com orifícios para a alimentação de ar, proveniente de um ventilador acionado por um motor elétrico, localizados axialmente no fundo do bocal.

Este tipo de montagem apresenta os seguintes problemas: a) apresenta uma câmara de combustão, em forma de uma calha aberta, não mantendo uma temperatura adequada para a combustão; b) impulsiona combustível não queimado para fora do bocal, geralmente ficando sem oxigênio para terminar a queima; c) emissão de material volátil não queimado, decorrente da baixa temperatura de combustão, aumentando a liberação de monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO_x); d) pelas características anteriores, um baixo rendimento.

Os queimadores de bocal circular são feitos com o formato de um cilindro: um cilindro interno com orifícios constitui a câmara de combustão e um cilindro

externo constitui o invólucro para a condução de ar de alimentação, oriundo de um ventilador. O fornecimento dos pellets é feito por uma helicóide acoplada a um motorreductor.

Neste tipo de montagem aparecem os seguintes problemas: a) aparecimento de incrustações, ocasionadas pela alta temperatura na câmara de combustão; b) emissão de combustível não queimado para fora do bocal, decorrente do excesso de ar de alimentação; c) liberação de material volátil não queimado, pela pequena permanência dos gases dentro da câmara de combustão; d) incrustações, emissões e material volátil resultam em diminuição do rendimento.

A combustão dos pellets em queimadores apresenta um percentual de desperdício de combustível que é lançado para fora da câmara de combustão parcialmente incandescente, ocasionado pela forma incorreta de insuflamento do ar primário e que geralmente continua queimando junto com as cinzas, onde não encontram oxigênio para sua combustão completa, originando emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), dificultando a troca térmica e diminuindo a geração de energia.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e construir um queimador alimentado com biomassa e automatizado.

3.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Desenvolver um protótipo de um queimador para a queima de pellets.
- b) Construir um protótipo do queimador.
- c) Controlar a presença de fogo no bocal de queima e a temperatura dos gases quentes para que não exceda a um limite pré-definido.
- d) Automatizar o protótipo.

4 REVISÃO DE LITERATURA

Pellets são fontes de energia de forma regular e redonda, fabricados a partir de resíduos comprimidos, geralmente de biomassa oriunda de descartes das indústrias, ou de subprodutos proveniente das atividades agro-industriais (MAZAU, 2017). Para Mazau (2017) na sua produção normalmente não é empregada nenhuma espécie de aglutinante químico, é apenas aquecido e submetido a elevada pressão. A prensagem acima dos 1000 bar preservam a estabilidade durante o envase e deslocamento até a sua combustão. Em poucos países, emprega-se de 1 a 3% de aditivos biológicos, entre eles farinha de milho, batata ou pasta de licor negro de celulose. Do mesmo modo utilizam-se colas provenientes do amido de milho, como aditivo para auxiliar a prensagem, melhorando a estabilidade energética e a resistência do produto final. A margem para usar as colas não deve ultrapassar 2%, determinado para reduzir o teor das cinzas (MAZAU, 2017). A quantidade de cinzas interfere no processo de queima. A figura 1 apresenta um exemplo de máquina peletizadora.



Figura 1 - Produção industrial de pellets de madeira
Fonte: Bioenergia, 2002 - 2004 Projecto GREENPRO

Os insumos para a obtenção da biomassa precisam ser de 40 a 50% do peso em celulose, sendo a hemicelulose a segunda maior parcela com 20 a 40% e a maior parte restante é de lignina. Segundo Mckendry (2002), as quantidades relacionadas de celulose e de lignina são uma das condições determinantes para a seleção de espécies adequadas para o decorrente processamento como matérias-primas energéticas. Outros fatores relevantes incluem poder calorífico, teor de

umidade, carbono fixo ou volátil, teor de metais alcalinos e teor de cinzas (DILPREET et .al., 2018).

Para Lopes (2003) a definição de combustão é o conjunto de reações químicas de oxidação de elementos combustíveis com um comburente, geralmente oxigênio do ar, liberando energia térmica. Para que a combustão ocorra eficientemente são necessários os três “T” da combustão:

- a) Temperatura alta o suficiente para iniciar e manter a queima do combustível;
- b) Turbulência ou Mistura adequada do ar com o combustível;
- c) Tempo suficiente para a ocorrência da reação de combustão;

Calcula-se a quantidade de oxigênio necessária pelo balanço de átomos, utilizando o "mol". Para monitorar a técnica da combustão, é necessário saber o fornecimento das massas de combustível e oxigênio. O movimento da massa dos produtos tem que ser igual ao movimento da massa dos reagentes estabelecido como o conceito da razão oxigênio-combustível (λ).

$$\lambda = \frac{\text{massa de ar}}{\text{massa de combustível}} \quad \text{eq 1}$$

A quantidade de oxigênio necessário para a combustão completa dos elementos é denominada de razão ar-combustível estequiométrica. Sendo mistura pobre, quando há sobra de oxigênio para as reações e sendo mistura rica, quando falta oxigênio para as reações da combustão. (RENDEIRO, G., et. al., 2008).

Segundo Eskilsson et. al. (2003), as emissões de hidrocarbonetos não queimados e monóxido de carbono (OGS e CO), são evidenciadas nas relações estequiométricas pobres, por outro lado, as emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) aumentam, e o rendimento diminui. Na escassez de oxigênio (perante disposições redutoras) e o tempo de permanência em uma temperatura adequada, os compostos de nitrogênio podem ser convertidos a moléculas de nitrogênio (N₂). A introdução do ar primário na zona redutora exige uma quantidade de oxigênio abaixo da relação estequiométrica, entre 0,4 e 0,8 (do excesso de ar), uma temperatura adequada entre 900 a 1100 °C e o tempo de residência do gás de combustão necessário para conclusão das reações . O ar secundário deve ser introduzido após as reações para a conversão dos óxidos de nitrogênio (NOx).

A tecnologia de combustão e os requisitos funcionais empregados nos sistemas de energia térmica de biomassa divergem em função das características do combustível, influenciando nas emissões e rendimento. As propriedades físico-químico e térmica do combustível de biomassa, por exemplo, a densidade de energia, densidade de massa, poder de aquecimento, compostos químicos, teor de umidade, cinzas e conteúdos finos, são significativos para o seu aproveitamento em pequenos equipamentos (RASTVOROV; OSINTSEV; TOROPOV, 2017).

As particularidades das biomassas não influenciam em equipamentos de queima grandes e que possuem sistemas de limpeza e monitoramento da combustão. As possibilidades para diminuir as emissões no processo de queima incompleta, envolvem abastecimento contínuo de combustível, temperatura na câmara necessária para a combustão, baixa taxa de umidade da biomassa e fornecimento de ar primário, secundário e tempo de permanência dos gases necessários para a queima. As características fundamentais da biomassa, como poder calorífico, densidade e quantidade de umidade, alteram as configurações do equipamento de queima e o seu manejo de diversas formas (MALATÁK, BRADNA, 2017). O combustível de biomassa é produzido por prensagem conferindo uma maior densidade, de modo que reduz consideravelmente a velocidade de escape e a taxa de transferência de calor da matéria volátil (RONG, WANG, HE, FU, 2016).

Segundo Örberg et. al., (2014) os queimadores de pellets distinguem-se pela forma como o combustível é alimentado em:

a - Subalimentação ou inferior, onde os pellets são alimentados pela parte de baixo do queimador.

b - Horizontal, onde os pellets são alimentados horizontalmente.

c - Sobrealimentação ou superior, onde os pellets são alimentados pela parte superior, conforme a figura 2.

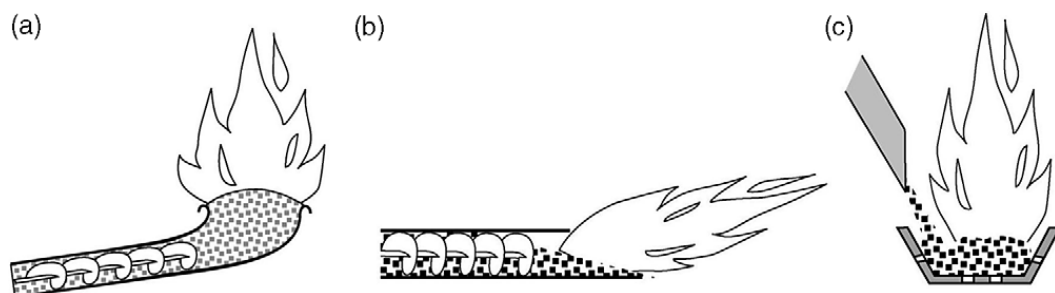


Figura 2 - Tipos de queimadores de pellets pelo princípio de alimentação: (a) queimador alimentado pelo fundo; (b) queimador alimentado horizontalmente; (c) queimador alimentado pela parte superior.

Fonte: Fieldler, (2003).

A figura 3, ilustra exemplos de aplicações dos queimadores com;
 a) - alimentação inferior;
 b) - horizontal;
 c) - superior - respectivamente.

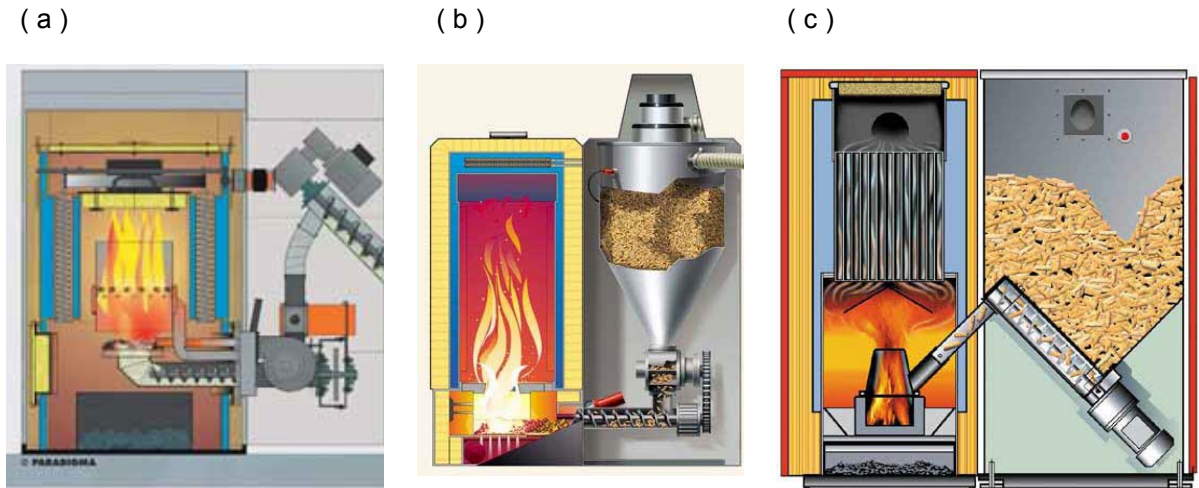


Figura 3 - Tipos de queimadores de pellets pelo princípio de alimentação: (a) queimador alimentado pelo fundo; (b) queimador alimentado horizontalmente; (c) queimador alimentado pela parte superior
 Fonte: Bioenergia, (2002 - 2004).

Para a combustão dos pellets pode-se utilizar dois tipos de queimadores, sendo o de bocal ou de cuba, onde os queimadores apresentam-se na forma; circular; de acordo com a figura 4 a e b;
 circular; figura 5 a;
 retangular; conforme a figura 5 b.

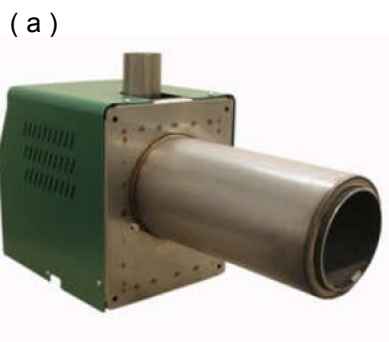


Figura 4 a- Queimador de bocal circular;
 Fonte: <http://www.megatherm.gr>



b- Queimador de bocal circular
 Fonte: Matias, 2016.

(a)

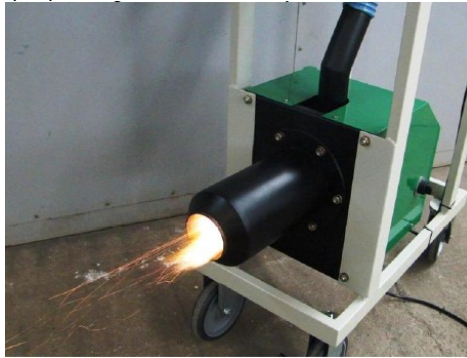


Figura 5 a - Queimador de bocal circular; b - Queimador de bocal retangular

Fonte: Dück, (2013).

(b)



Fonte: Bioenergia, (2002 - 2004).

Os equipamentos de queima possuem uma relação ar/combustível para operar com um combustível específico de biomassa. A relação ar/combustível correta diminui as emissões e aumenta o rendimento. Também para assegurar uma completa combustão, um adequado aproveitamento da câmara de combustão é essencial (distribuição homogênea do fluxo de gás), como também uma distribuição homogênea de temperatura que deve ser obtida melhorando a geometria da combustão na câmara. Dessa maneira as concentrações de monóxido de carbono (CO) também podem ser utilizadas para analisar as características do dimensionamento para a queima de um biocombustível específico na câmara de combustão (CARVALHO et. al., 2015). As quantidades de emissões de monóxido de carbono (CO), podem estar relacionadas com a fraca combustão que resulta em redução da temperatura de combustão, deficiência de oxigênio, insuficiente mistura do ar de alimentação com o combustível e uma permanência pequena dos gases de combustão na câmara de combustão (RASTVOROV; OSINTSEV; TOROPOV, 2017). Reduzindo o excesso de ar (proporção de oxigênio) ocasiona um acréscimo de liberação de não queimado (carbono orgânico gasoso (OCG) e monóxido de carbono (CO)) e uma redução na liberação de óxidos de nitrogênio (NO_x). Além disso, o rendimento melhora de acordo com a redução do excesso de ar até as perdas decorrente da combustão ficarem bastante elevadas (ESKISSON, et. al., 2004).

Conclusões de Zandeckis et al. (2013) revelam que mesmo mínimas alterações na maneira como o ar de combustão é inserido na câmara de combustão podem interferir consideravelmente no sistema de combustão (MALATÁK; BRADNA, 2017).

4.1 BUSCA DE ANTERIORIDADES

A Lei de Propriedade Industrial (Lei 9.279/96) pressupõe que para que um invento possa ser protegido por patente é indispensável que cumpra as exigências de: atividade inventiva, novidade e aplicação industrial.

Para Souza et al (2014), um instrumento que concede a preservação da inovação produzida no meio acadêmico é a patente, que é uma designação de domínio provisório sobre um modelo de utilidade ou uma invenção, concedida pelo órgão competente aos criadores depositários do direito sobre a invenção.

Com o objetivo de examinar a possibilidade de obter a patente do equipamento, foi executada uma averiguação em títulos de patentes e artigos científicos referentes ao conteúdo evidenciado.

As palavras chave: "Queimador de biomassa", "Queimador de pellets", e em inglês "*Burner and pellets*", "*Burner and biomas*", "*boiler and pellets*" e "*boiler and biomas*", foram utilizadas para assegurar a abrangência de todos os prováveis registros importantes disponíveis.

Foram utilizadas as bases de dados e serviços de busca: Espacenet (européia), USPTO (americana) e Plataforma do INPI.

No sítio <https://worldwide.espacenet.com>, com as palavras-chave: "*pellets and burner*", obtém-se 401 resultados. com as palavras-chave: "*biomas and burner*" chega-se a 516 resultados.

No sítio <http://patft.uspto.gov>, com as palavras-chave: "*boiler and pellets*" apresentando 16 resultados e com as palavras-chave: "*boiler and biomas*" com 62 resultados, sendo que, com as palavras-chave: "*pellets burner*" apresentando 47 resultados, onde um único título selecionado encontra-se duplicado e com as palavras-chave: "*biomass burner*" apresentando 59 não possui trabalhos selecionados.

No sítio <https://gru.inpi.gov.br/pePI/servlet/PatenteServletController>, com as palavras-chave: "Queimador pellets", obtém-se 805 processos, (resultado da pesquisa (02/05/2019 às 10:04:56)) e com as palavras-chave: "Queimador biomassa", com 2090 resultados, (resultado da pesquisa (02/05/2019 às 10:01:08)).

Os números presentes nos desenhos foram desconsiderados, por se tratar da descrição detalhada dos modelos citados, não sendo foco da presente dissertação, uma vez que se pretende apenas evidenciar as diferenças construtivas em relação ao modelo desenvolvido, por isso, não estão detalhados, porém, estão

disponíveis nos documentos referenciados em cada citação.

Os resultados da investigação estão estabelecidos conforme a ordem da busca, e são apresentados abaixo:

O primeiro título pesquisado com *"pellets and burner"*, sendo *"Wood pellet burner"* e tem como autor PARK TOUNG TAE [KR], sob o registro número KR20170009166 (A), de 25/01/2017, e descreve um queimador de pellets com uma pluralidade de orifícios de suprimento de ar em um objeto circular fundível, que é penetrado para formar um ângulo de inclinação para permitir um fluxo de ar na câmara de combustão à prova de fogo de formas radiais e espirais.

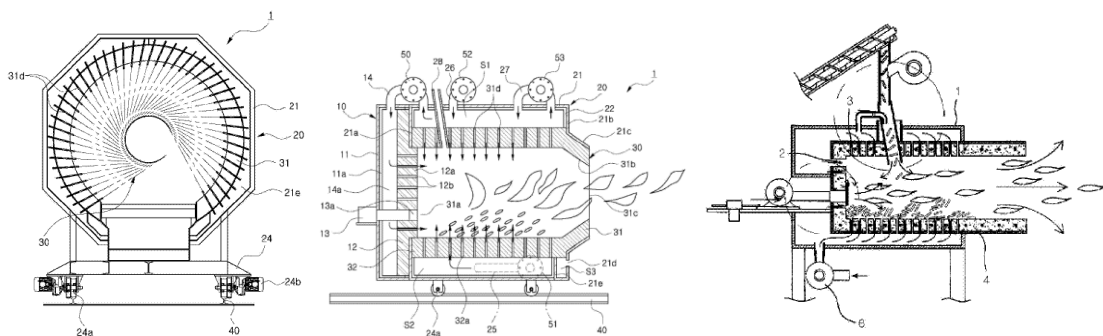


Figura 6 - Wood pellet burner.
Fonte: PARK TOUNG TAE.

Sob o número de registro WO2016056930 (A2) de 14/04/2016, desenvolvido por BRZESKI MICHAL [PL], com o título de *"The unit for supplying air to the combustion chamber of a pellet burner"*, onde o assunto do modelo de utilidade é uma unidade para fornecer ar à câmara de combustão de um queimador de pellets, com bocal retangular, com uma câmara rotativa e uma ranhura em forma de anel, que é uma entrada de ar da câmara de sopro para uma parte axial da câmara.

Nomeado de *"Shield of combustion chamber in the pellet burner"*, sob o número de registro PL409524 (A1) de 29/03/2016, tendo como autor BRZESKI MICHAL [PL] e cita um queimador de pellets, com um espaço entre a câmara de combustão e a tampa é uma conduta em forma de anel que fornece ar para a câmara de combustão colocada nela circunferencialmente. O duto em forma de anel que fornece ar para a câmara de combustão.

Desenvolvido pelos autores XIKUN DI e YANBAO ZHANG, sob o título *"Rotary water-cooled spray-burning type biomass particle burner"*, com o registro número CN102537939 (A) de 04/07/2012, descreve um queimador de partículas de

biomassa e possui uma câmara de ar que circunda a periferia do cilindro em chamas e é usado para cobrir a saída de ar de um soprador, a parede lateral interna do cilindro de combustão está fixamente provida de uma aleta em espiral, a parede lateral do cilindro de combustão está provida de um orifício de ar para comunicar o interior do cilindro de combustão com a câmara de ar, uma peça de localização concêntrica é conectada entre a câmara de ar e o cilindro de queima e um motor regulador de velocidade é usado para impulsionar o trado e o cilindro de queima para girar.

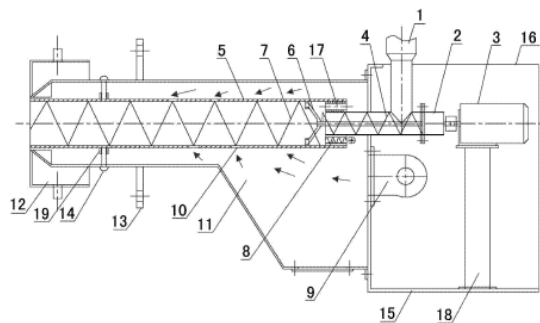


Figura 7 - Rotary water-cooled spray
Fonte : XIKUN DI e YANBAO ZHANG

Nomeado com título de "*Wood pellet burner for existing boilers an furnaces*", sob o número de registro US2011297110 (A1) de 08/12/2011, desenvolvido pelos autores MALATESTA CHARLES A [US] e ARSENAULT MARK D [US] que retratam um queimador de pellets com um espaço de alta pressão, com perfurações angulares e fluxo de ar que forma uma chama giratória no pote de queimaduras que se desloca para um conduto de chama do alojamento interno, onde ocorre um turbilhão adicional em uma seção de risco para moldar a chama em uma forma limpa, quente e simétrica.

Sob o registro número LV14123 (A) de 20/03/2010, desenvolvido pelos autores KUBLINSKIS LEONĪDS [LV] e PLŪME IMANTS [LV], com o título de "*Three-camara pellets burner*", onde o dispositivo possui a construção do queimador de três câmaras, cuja pequena entrada tem ranhuras inclinadas na circunferência para entrada secundária de ar tangencialmente na câmara, cujo eixo central de simetria é perpendicular à parede lateral da segunda câmara.

Desenvolvido por ORJALA MARKKU [FI], sob o registro número WO8301671 (A1) de 11/05/1983, com o título de "*Burner for pellets*", relata um queimador para pellets, onde o ar de combustão é alimentado ao espaço entre as

partes tubulares e a partir daí através dos orifícios inferiores no flange de ar primário para as perfurações na grelha abaixo da camada de combustível de combustão. O ar secundário é conduzido através da parte superior da flange por meio dos turboelementos e fendas de ar, como um fluxo de ar horizontalmente giratório através da câmara de combustão para o forno.

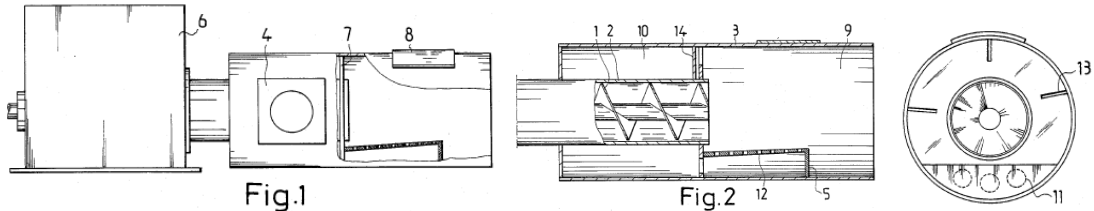


Figura 8 - Burner for pellets.
Fonte: ORJALA MARKKU.

Com o título de "*Burner for pellets*", sob o número de registro WO2004111535 (A1) de 23/12/2004, o autor HAKALA VESA [FI] refere-se a um queimador para pellets que inclui um tubo de combustão e uma camisa circundante juntos com o espaço do invólucro entre eles, e no qual o tubo de combustão tem perfurações na área do espaço do invólucro.

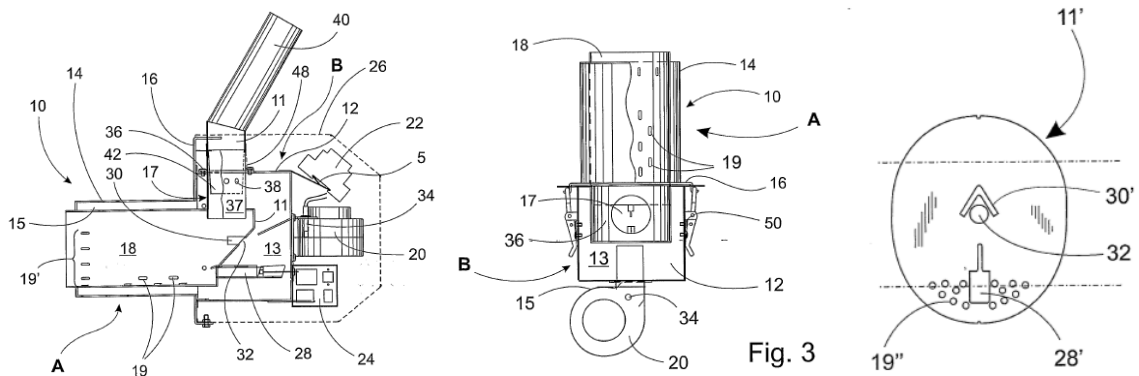


Figura 9 - Burner for pellets.
Fonte: HAKALA VESA.

Sob o registro número WO9831968 (A1) de 23/07/1998, nomeado de "*Burner for solid fuel and method of controlling the supply of air to a burner*", desenvolvido pelo autor ERICSON JAN [SE] que descreve um queimador para combustível sólido, com o fornecimento de ar necessário para a combustão, onde o ar primário é introduzido num tubo interno do queimador através de aberturas na parede do tubo e é fornecido através de um espaço formado entre o tubo interno do queimador e um tubo queimador externo através de uma abertura de ar secundária.

O primeiro título pesquisado com "*biomas and burner*", é "*High efficient and*

environmental friendly biomass energy powder burner", sob o registro número CN108361691 (A) de 03/08/2018, desenvolvido pelo autor LIU HAIBIN, retrata um queimador de pó de energia de biomassa altamente eficiente, onde o combustível em pó que não é suficientemente queimado. Ao entrar no bocal, a chama avançará em espiral ao longo de todas as ranhuras espirais internas, para formar chamas em espiral girando em alta velocidade para o pó ser recolhido para o lado interno do bocal sob o efeito da força centrífuga e é sugado para a cavidade a ser continuamente soprado para dentro de uma câmara de queima do corpo da máquina.

Sob o número de registro CN108167856 (A) de 15/06/2018, desenvolvido pelos autores WANG XUEWEN; WANG YONGLU; WANG YONGFU e WANG QIANG, com o título de *"Packing auger device special for biomass particle burner"*, retrata um queimador de partículas de biomassa e é composto de um eixo principal e um eixo oco, a periferia da extremidade traseira do eixo oco é provida de uma pluralidade de entradas de ar, a periferia da extremidade dianteira do eixo oco é uniformemente provida de orifícios de saída de ar de uma maneira densa, e a periferia do eixo oco é provida de lâminas em espiral. Enquanto as pás espirais são usadas para empurrar para frente e transportar materiais, o ar é rotativamente fornecido em uma queima na câmara do queimador para ajudar a queimar o combustível de partícula de palha.

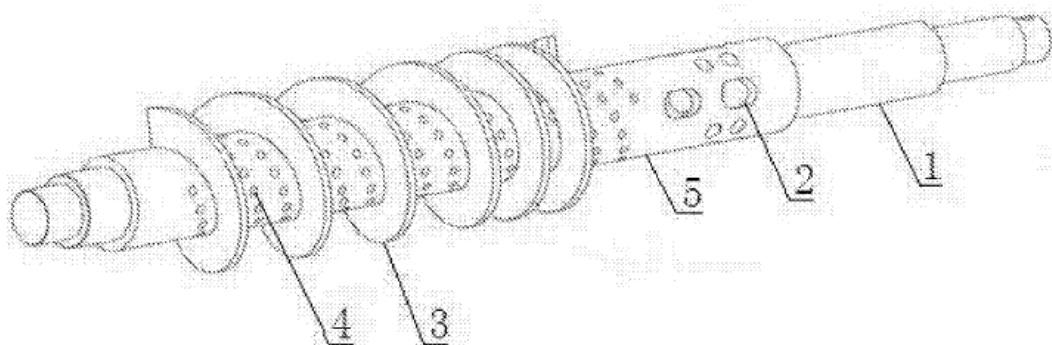


Figura 10 - Packing auger device special for biomass particle burner
Fonte: WANG XUEWEN; WANG YONGLU; WANG YONGFU e WANG QIANG

Nomeado de *"Burner"*, sob o número de registro JP2017089899 (A) de 25/05/2017, tendo como autores NARISAWA MICHINORI; IWAMOTO NORIYUKI e ICHIKAWA KODAI, descreve um queimador, que na câmara de combustão tem bicos de fornecimento de ar dispostos ao longo de uma direção de linha tangencial de um círculo virtual assumido na câmara de combustão em três localizações numa

direção periférica numa parede periférica na posição perto de uma extremidade. Um fluxo de circulação é formado na câmara de combustão pelo ar de combustão fornecido a partir dos bicos de fornecimento de ar.

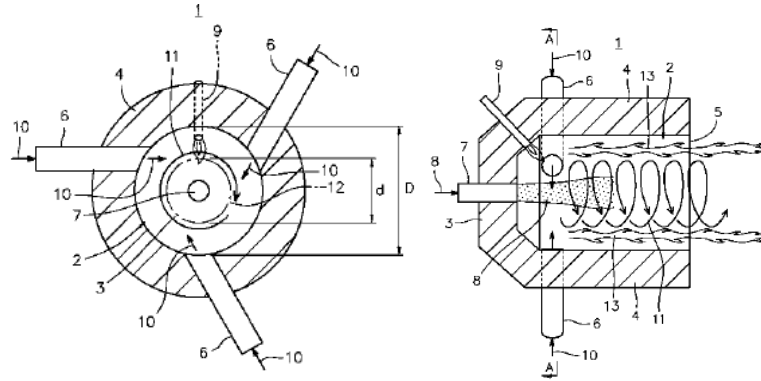


Figura 11- Burner

Fonte: WANG XUEWEN; WANG YONGLU; WANG YONGFU e WANG QIANG

Desenvolvido pelos autores CUI XIANGLONG; CUI CHUNHE e YANG LEI, sob o número de registro CN106524133 (A) de 22/03/2017, com a designação de "*Rotary type burner*", retrata um queimador do tipo rotativo onde uma entrada de ar é formada na posição, perto da extremidade traseira do cano externo e é conectada com o ventilador de sucção. O tambor interno é um cilindro com uma parede de cilindro provida de uma pluralidade de furos de passagem para entrada de ar que entram e podem ser dispostos no tambor externo rotativamente, conforme figuras 4 e 5 presentes na referida patente:

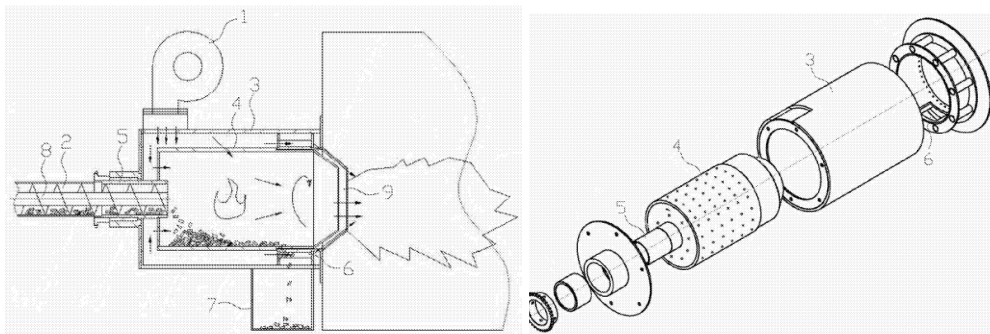


Figura 12 - Rotary type burner

Fonte : CUI XIANGLONG; CUI CHUNHE e YANG LEI

Elaborado pelos autores XIAO JILIN; LU DUN; WEN HUAZHONG; FU WENZHE; QUAN PENG; BAI JIANCHENG; ZHENG XIAOBING; XU BIN; WANG MAN, sob número de registro CN106152168 (A) de 23/11/2016, nomeado de "*Inner cylinder rotating type biomass particle burner*" com a designação de um queimador de partículas de biomassa do tipo rotativo do cilindro interno. O cilindro de

combustão interior é coaxialmente manejado com o cilindro de combustão externo, um espaço é reservado entre o cilindro interno de queima e o cilindro externo de queima, múltiplas filas de furos de ar secundários tangenciais são formadas axialmente na parede externa do cilindro de queima interno; cada fila dos furos de ar secundários tangenciais são formados circunferencialmente e são tangenciais com o mesmo círculo.

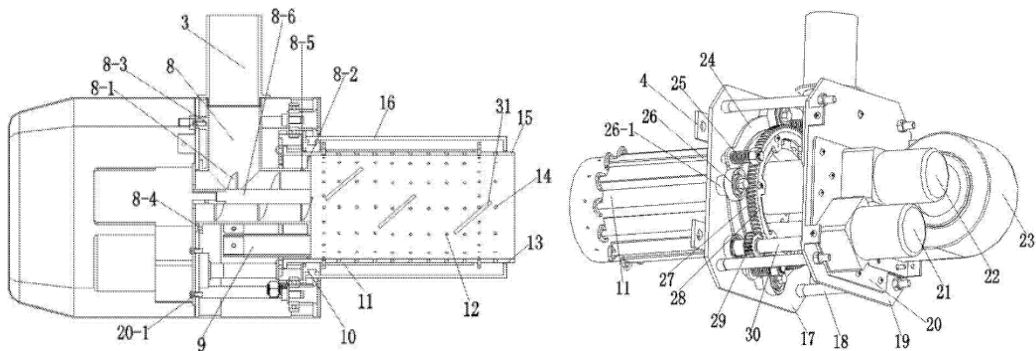


Figura 13 - Inner cylinder rotating type biomass particle burner
Fonte : XIAO JILIN; et. al.

Com a denominação de *"Energy-conserving and environment-protective burner of high-efficient burning biomass"*, e tem como autor LIU MINLI, sob o número de registro CN205137436 (U) de 06/04/2016, o modelo de utilidade divulga um queimador de conservação de energia de alta eficiência, onde o revestimento da superfície do tubo externo tem a camada de resfriamento a disposição de anel ao longo do tubo interno e forma um tubo de distribuição de ar em espiral, a distribuição de ar em espiral é administrada e é unida em um pré-aquecimento juntamente com a câmara de pressurização de ar e está ligado entre si, o tubo de distribuição de ar espiral estende-se para o interior do tubo interno, o agitador de chama inclui o anel de ferro.

Sob o número de registro CN203907585 (U) de 29/04/2014, desenvolvido pelos autores LI LUXIN; XUE HUI; XING YANLEI, com o título de *"Novel biomass particle burner"*, divulga um novo queimador de partículas de biomassa, a periferia de uma lareira é simetricamente provida de uma pluralidade de peças circulares côncavas circulares. Na parte côncava de arco de cada manga é fornecida pelo menos dois buracos tangenciais formados na circunferência interna da manga tangencial, o ar de entrada do queimador é ar tangencial.

Com a denominação de *"Burner of hard biomass together with rotating combustion chamber"*, sob o número de registro LV14651 (A) de 20/03/2013, e tem

como autor KLEINBERGS VALDIS [LV], e é referido a um queimador usado para combustão de biomassa dura, ele é projetado como câmara de combustão rotativa, e o canal de suprimento de ar do queimador está localizado na posição descentralizada em relação ao eixo do cilindro externo do queimador, para formar um fluxo de ar rodopiante e fornecer combustão completa de combustível.

Desenvolvido pelos autores KIM MI SOON [KR]; I JAE DU [KR] LEE KANG SUN [KR], com a designação de "*Horizontal type biomass semi-distilled high temperature burner*", sob o número de registro KR20130118019 (A) de 29/10/2013, descreve um queimador de biomassa do tipo horizontal de alta temperatura, para melhorar a eficiência de combustão como combustíveis de biomassa, uma câmara de combustão com ar de combustão são circulados dentro da câmara de combustão para que os combustíveis de biomassa e ar de combustão sejam suficientemente misturados. O tubo de combustível do suprimento de combustível é conectado ao tubo de suprimento de combustível e fornece combustíveis de biomassa com ar de alta pressão.

Sob o número de registro CN202082914 (U) de 21/12/2011, desenvolvido pelos autores KEYONG DU e ZHEKE ZHONG, com o título de "*Biomass energy burner provided with shifting fork at feed inlet*", relata um queimador de energia de biomassa, onde a câmara de combustão toma ar em múltiplos ângulos através de entradas de ar principais e orifícios de distribuição de ar alterando assim a direção do fluxo de ar na câmara de combustão aumentando o tempo de contato e a superfície de contato de ar de combustão, e melhorando o efeito de suporte de combustão, o ar de suporte de combustão é pré-aquecido várias vezes pelo calor da câmara de combustão, que utiliza razoavelmente o calor e reduz a perda de calor, conforme figuras presentes na referida patente:

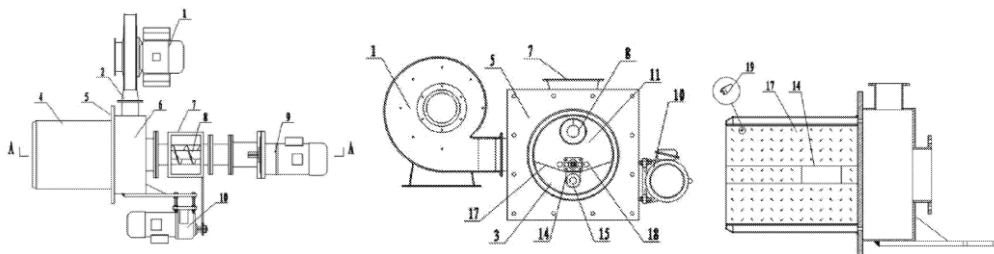


Figura 14 - Biomass energy burner
Fonte: KEYONG DU; ZHEKE ZHONG

O primeiro título pesquisado com "*boiler and pellets*", sendo "*Rotary burner*

for solid fuel", sob o número de registro WO98/39600 de 20/03/2001, e tem como autor MAGNUSSON, JAN [SE], descreve um dispositivo para a combustão de combustível sólido, compreendendo um tambor rotativo do reator dentro da câmara de combustão principal, em sua parte traseira, está um tambor interno, menor, que é coaxial com o tambor do reator e tem uma camisa perfurada. O tambor menor é disposto para ser rotativo com o tambor do reator maior em torno do seu eixo central.

Sob o número de registro WO02/088597, de 13/06/2006, desenvolvido por INGVARSSON, ROBERT [SE], com o título de "*Combustion device*", refere-se a um arranjo para a combustão de combustível sólido granular, entradas de ar com ventilador para a entrada de ar primário para a câmara de combustão, através de pelo menos uma conduta de ar ou câmara de ar para produzir um fluxo de ar através da câmara de combustão, e para a entrada de ar secundário a uma câmara de combustão secundária através de um distribuidor de ar secundário de modo a produzir uma combustão secundária.

O primeiro título pesquisado com "*queimador de pellets*", e tendo como autores LOUIS RICCI e GAËL LE PIVER, sob o número de registro BR 11 2017 002300 8 A2, de 25/06/2015, refere-se a um queimador que compreende um conduto para ar ou gás primário delimitado por uma parede externa e uma parede interna concêntrica de eixo geométrico e condutos para injetar ar ou gás primário radial compreende um anel rotativamente móvel e tendo protrusões axiais constituindo distribuidores que engatam com os condutos de ar primário radial dispostos na parede interna e formam dois canais de diferentes ângulos em cada conduto. Uma rotação do anel torna possível variar o ângulo de injeção do ar primário radial, tendo uma seção transversal fixada, que simplifica o ajuste do queimador, isto impede a rotação das partes móveis que estão em contato direto com o lado de fora do queimador.

Sob o número de registro BR 11 2015 012071 7, de 27/11/2013, desenvolvido pelo autor BENFENATI, ALBERTO [IT], com a denominação de "Queimador", possuindo elementos tubulares, definindo dois dutos, um para o comburente e o outro para o fluxo do fluido da combustão; os meios de difusão compreendem dois elementos de difusão, com aberturas relativas e móveis reciprocamente, tendo uma pluralidade de orifícios para o fluxo do fluido de combustão, os elementos de difusão são montados ao redor do elemento de ligação,

cada um tendo uma pluralidade de aberturas, definidas por cortes de passagem, as aberturas têm uma extensão curvilínea e uma seção crescente para fora.

Desenvolvido pelos autores JOHN E. MONACELLI e ALBERT D. LARUE, com a designação de "Queimador de biomassa por jato de ar central", sob o número de registro PI 1001478-0 A2, de 29/04/2010, descreve um aparelho de combustão capaz de queimar combustível à base de biomassa, que inclui um bocal para biomassa circundado concentricamente por uma zona de ar de núcleo e que se estende axialmente ao longo do comprimento da zona de ar de núcleo, residindo o conjunto de queimador dentro de uma caixa de vento.

Elaborado pela autora GISELA DE LIMA RACY, sob o número de registro MU 8802028-2 U2 de 21/07/2008, com a denominação de "Queimador horizontal de biomassa", retrata um queimador de biomassa, onde o ar soprado pelo ciclone de ventilação passa através do tubo do acendedor e através da câmara formada entre o tubo que forma a câmara e o tubo externo de proteção entrando na câmara através dos furos de ventilação.

Pelo título de "Aperfeiçoamento em queimador de combustíveis de baixo poder calorífico para vinhaça e palha em pó", e tem como autor NORBERT SCHOPF, sob o número de registro PI 0804291-8 B1 de 30/09/2008, descreve sobre um queimador torsional, dotado de pré-câmara de combustão utilizado com uma lança especial juntamente com a pressão do ar primário por permitir a entrada de ar de combustão necessário através da caixa de ar torsional fornecido tangencialmente ao queimador, este ingressa no anel interno e se acelera através do cone que lhe imprime a rotação para o ingresso na pré-câmara. Dotado, assim, de uma construtividade que permite a entrada do ar central de forma independente pelo anel formado entre a lança de combustível central e o tubo de ar.

Sob o número de registro PI 0110229-0 de 27/04/2001, desenvolvido pelo autor FRANKLIN SCOTT [AU], com o título de "Queimador de biomassa", relata um queimador de biomassa que possui uma zona de combustão primária localizada na extremidade inferior do reservatório de combustível, uma zona de combustão secundária localizada abaixo da zona de combustão primária, uma passagem que proporciona comunicação entre as zonas de combustão primária e secundária, a zona de combustão primária tendo uma parede periférica incorporando meios de furo de ar para proporcionar ar de combustão para a zona de combustão primária.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

Na primeira fase da pesquisa, foi realizado um levantamento bibliográfico demonstrando as vantagens do processo de produção e da utilização dos pellets comparando-os com a biomassa *in natura* (lenha) e ao óleo diesel derivado do petróleo. Em relação aos parâmetros que interferem na emissão dos gases que possuem influência sobre a combustão estão a umidade, a densidade, o poder calorífico e as cinzas, que interferem na emissão de gases como o monóxido de carbono (CO) e o óxidos de nitrogênio (NO_x) e no rendimento, analisados em trabalhos de pesquisa, para determinar os parâmetros de análise deste trabalho. Assim como, realizar uma investigação a respeito dos tipos de queimadores para a queima de pellets, tipos de alimentação mais eficientes e as formas de fornecimento de ar primário e secundário, criando um embasamento científico para o desenvolvimento do protótipo proposto.

5.1 ETAPAS PARA A CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO.

A construção do protótipo segue as etapas descritas abaixo:

a - Elaboração do croqui: Nesta etapa, imagina-se como o protótipo deve ser desenvolvido, faz-se rabiscos a mão livre em um rascunho, onde transfere-se a memorização para o papel.

b - Discriminação de material: Após criar o croqui, procura-se os materiais a serem utilizados, verificando se os mesmo estão disponíveis comercialmente ou devem ser construídos, e quais os processos a serem empregados.

c - Desenvolvimento do projeto: A etapa de projeto e dimensionamento é realizada utilizando o software Autocad educacional gratuito. Caracterizando-se em uma abordagem quantitativa, o uso de materiais comerciais facilitam no momento da construção, mas direcionam o projeto as dimensões que não são as ideais. Porém como as outras variáveis (como a vazão de ar necessários e a quantidade de combustível) podem ser compensados, ou seja, pode-se alterar a vazão de ar em função do diâmetro do rotor, e a entrada de ar no ventilador será com regulagem, a quantidade de combustível também pode ser controlada em função de um maior ou menor tempo em que o motor do alimentador ficará ligado. Assim pode-se usar os

materiais comerciais, que diminuem o tempo de construção e o custo do projeto. É importante na elaboração do projeto a análise de todos os parâmetros que interferem no funcionamento correto do equipamento, evitando pontos de perda de carga elevada no fluxo do ar ou dos gases da combustão e prevendo um resfriamento nas partes quentes para aumentar a vida útil dos componentes.

5.2 Construção do Protótipo.

As peças com detalhes foram cortadas em uma máquina de corte a laser ou com uma máquina de corte a plasma, a partir de chapas de aço SAE 1020 planas.

As peças em tubos foram cortadas em uma serra de corte a partir de tubos comerciais com costura com 2-1/2 in e 5 in. O cone foi calandrado a partir da peça cortada na laser. A rosca helicoidal foi cortada de uma rosca helicoidal comercial. O eixo para a fixação no redutor será produzido em um torno mecânico a partir de um material de aço SAE 1020 redondo. A helicoidal para direcionar o ar foi esticado a partir de um disco cortado na máquina de corte a plasma de uma chapa de aço SAE 1020 plana.

O ventilador foi montado a partir de duas peças cortadas na máquina de corte a laser e unidas com solda mig/mag através de uma chapa plana de aço SAE 1020, que recobre o perímetro lateral das peças, em um lado será aparafusado um disco para a fixação do motor elétrico e no outro lado, um disco vazado para a regulação da vazão de ar.

A helicóide para direcionar o ar será montada na parte externa do tubo de alimentação de pellets, com o cone em uma extremidade, após o cone um disco centralizador, na outra extremidade do tubo, será montado um acoplamento aparafusado para montar o motorredutor de velocidade do alimentador, e entre o acoplamento e a helicóide, será feito um recorte para montar o silo de depósito de *pellets*.

No tubo externo será feito um recorte, um para soldar o ventilador. No eixo do redutor será soldado a rosca helicoidal do alimentador. O tubo de alimentação é montado dentro do tubo externo com o ventilador e o motor elétrico, no acoplamento do tubo de alimentação monta-se o motorredutor e o eixo com a rosca helicoidal, que fica fixo no motorredutor. Sendo automatizado por um programa em wiring

(C++), desenvolvido na plataforma livre do Arduíno. Na fase de programação, deve-se prever a presença de fogo através do controle da temperatura dos gases quentes no qual se a temperatura não atingir um valor pré-definido dentro de um determinado tempo, acuse a falta de fogo no queimador. Deve-se também examinar a temperatura dos gases quentes para que esta não exceda a um limite pré-definido, impedindo a alimentação enquanto a temperatura esteja acima do limite.

O desenvolvimento do protótipo do queimador deve ser direcionado pelos objetivos explorando as considerações e os aperfeiçoamentos para os problemas a serem melhorados como:

a) alimentação automática para o combustível. Para o fornecimento da biomassa será utilizada a alimentação horizontal, com uma rosca helicoidal acoplada a um motorreductor de velocidade e dosada através do comando do programa feito no micro controlador Arduíno.

b) local adequado para a introdução do ar primário e secundário. A maneira como o ar é introduzido na câmara de combustão perturba de modo direto a aerodinâmica da câmara e o rendimento da combustão. O Ar primário deve ser insuflado pela parte inferior da câmara, onde ocorre a secagem e o aquecimento do combustível. O ar secundário deve ser insuflado pela parte superior da câmara para a combustão de voláteis (ZANDECKIS, et al. 2013). O fornecimento de ar primário será introduzido no início do bocal da câmara de combustão, enquanto o suprimento de ar secundário será insuflado no meio do bocal da câmara de combustão, sendo pré-aquecido e ao mesmo tempo com a função de resfriamento do bocal da câmara de combustão. Um terceiro ar será insuflado na saída do bocal da queima, através de furos axiais na tampa do bocal, com o objetivo de: diminuir a pressão do ar proveniente do ventilador, resfriar o bocal da câmara de combustão e suprir a falta de oxigênio para as reações químicas, aumentando a vida útil do bocal de queima e diminuindo as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), ácido sulfúrico (SO₂) e deslocando as cinzas.

c) Prever um mecanismo de controle para a regulagem do excesso de ar. Wei et al. (2012) enfatiza que as concentrações de emissões de óxidos de carbono (CO₂) está vinculada a quantidade de ar na combustão.

Para a regulagem do ar será instalado uma sonda lambda na saída do queimador, para indicar o nível de oxigênio presente nos gases da queima, enviando um sinal elétrico para o Arduíno, apontando se a relação ar/combustível é rico ou

pobre e um motor de passo comandado pelo Arduíno para abrir ou fechar um disco vazado instalado na entrada do ventilador para ficar corrigindo a mistura.

De acordo com o material utilizado na confecção dividem-se em dois tipos, sendo de Dióxido de Zircônio ou Dióxido de Titânio. Esses elementos (Zircônio ou Titânio) são transmissores iônicos de oxigênio quando submetidos a temperatura alta. O sensor de óxido de zircônio trabalha produzindo uma defasagem de potencial elétrico entre os seus bornes variando entre cerca de 0,1 a 0,9 Volts ou ainda entre 0,1 a 5,0 Volts. (BOSCH, 2019)

De acordo com o sitio Bosch, 2019 o sensor de titânio utiliza um semicondutor à base de óxido de titânio, que modifica a sua resistência elétrica conforme a concentração presente. As sondas de zircônio necessitam de uma referência atmosférica, enquanto as de óxido de titânio não utilizam a referência atmosférica.

Com a existência de oxigênio (ou seja mistura "pobre") a resistência chega perto de 20 Quilo-Ohm, e quando a mistura é "rica" (na inexistência de oxigênio), aproxima-se de 1 Quilo-Ohm, alternando entre os dois extremos, apresentando um desempenho não linear. Este sensor precisa ser conectado com 5 Volts de tensão (BOSCH, 2019).

A seleção do sonda lambda não tem especificação para aplicação no Arduíno, sendo necessário um estudo mais aprofundado para conhecer os tipos existentes, local para a instalação e seu o funcionamento.

d) Manter os gases de combustão o tempo necessário para a queima completa.

Para manter os gases no queimador de bocal circular por um tempo maior, é direcionado o ar a ser insuflado em forma de helicóide entre o tubo externo e o interno aumentando assim o percurso dos gases na câmara de combustão. O período durante o qual o gás da combustão deve manter-se na câmara de combustão deve ser no mínimo de cinco segundos e a temperatura do gás de combustão precisa estar acima de 1.000° Celsius (VIERLE et al., 1999).

e) Prever o deslocamento das cinzas. Uma vazão de ar elevada empurra o combustível para fora da câmara e por outro lado uma baixa vazão de ar não tem força de arraste para o deslocamento das cinzas, sendo esse ajuste definido experimentalmente. As concentrações de monóxido de carbono (CO) podem ser utilizadas como uma referência do rendimento da combustão e de maneira a

examinar o queimador para suportar com as cinzas sintetizadas. Um aumento das emissões de CO são causadas pela obstrução da entrada do fluxo de ar (ÖRBERG, JANSSON, KALÉN, THYREL, XIONG, 2014).

A inovação deste queimador está ligada ao fornecimento de combustível de forma gradual, ou seja, quando a temperatura estiver chegando perto do limite superior, a alimentação dos pellets diminui gradualmente e quando a temperatura de controle começa a diminuir a alimentação dos *pellets* aumenta progressivamente.

O desenvolvimento e a construção de um protótipo do queimador é necessário para comprovar o raciocínio de que o ar de alimentação, sendo fornecido com a instalação da saída do ventilador centrífugo tangencialmente ao tubo externo do queimador e sendo guiado por uma helicóide entre o tubo externo e o tubo de alimentação, entrará na câmara de combustão em forma de uma helicóide, aumentando o tempo de permanência dos gases de combustão por um período mais longo, pois como o ar percorre o perímetro interno da câmara de combustão em forma de uma helicóide, este terá um deslocamento maior comparado-se com um percurso axial no interior da câmara de combustão, sendo o perímetro helicoidal igual a raiz quadrada do quadrado do passo mais o diâmetro vezes pi ao quadrado.

$$P = \sqrt{(\pi \cdot d)^2 + p^2} \quad \text{eq 2}$$

Em que:

P é o perímetro da helicóide;

d é o diâmetro interno do bocal da câmara de combustão;

p é o passo da guia helicoidal.

Os dados serão analisados e avaliados pelo seu desempenho, sendo observada a queima do combustível com o mínimo de partículas incandescentes saindo do bocal, o microcontrolador deve manter a chama constante no decorrer do seu funcionamento, alimentando o combustível necessário, monitorando a presença de fogo e a temperatura do gás da combustão. A potência gerada será em função da quantidade de pellets alimentada.

O programa desenvolvido para o microcontrolador Arduíno foi testado e ajustado, conforme o Apêndice 1.

A alimentação de ar com o formato de uma helicoidal é originada pela instalação da saída do ventilador centrífugo tangencialmente ao tubo externo do

queimador e é guiada por uma helicóide entre o tubo externo e o tubo de alimentação com a finalidade de aumentar o percurso do ar dentro da câmara de combustão e homogeneizar a mistura do ar com os gases da combustão.

Para forçar o ar entrar nos furos no cone de combustão, são colocados pequenos anteparos para direcionar o ar para dentro da câmara de combustão.

Com o ar de alimentação entrando tangencialmente na câmara de combustão, os pellets que vão perdendo massa e ficando mais leves são arrastados pelo ar tangencial, mantendo uma mistura mais homogênea e permanecendo por um tempo maior em uma temperatura mais adequada dentro da câmara de combustão, completando assim a sua queima dentro da câmara de combustão na presença de oxigênio. Ou seja, eliminando a chama de cor escura, que indica o excesso de material volátil não queimado pela falta de oxigênio ou uma mistura dos gases de combustão com o ar não homogênea e o aparecimento de fumaça pela umidade presente no combustível ou pela manutenção de uma chama de baixa temperatura na câmara de combustão, diminuindo assim a geração de cinzas, eliminando o desperdício e aumentando a geração de calor.

6 RESULTADOS

A figura 15, mostra o desenho da vista lateral do queimador de biomassa com o silo de armazenamento de *pellets*.

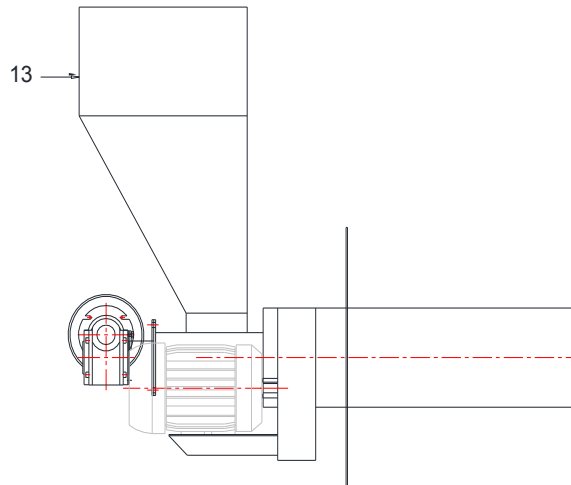


Figura 15 - Vista lateral do queimador de *pellets*.
Fonte: o Autor.

A figura 16, mostra o desenho da vista superior do queimador de biomassa com os detalhes dos componentes construtivos.

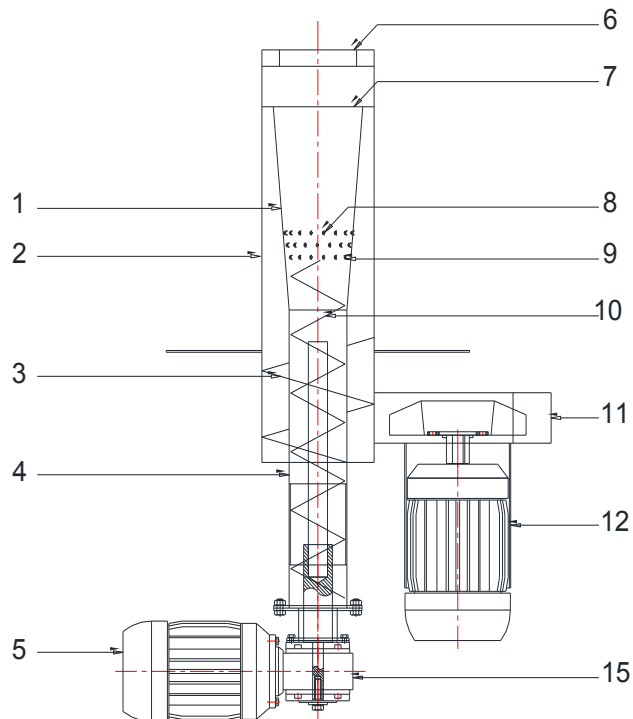


Figura 16 - Vista superior do queimador de *pellets*.
Fonte: o Autor.

A figura 17, mostra o desenho da vista superior do queimador de biomassa, com os detalhes para o fluxo do ar e o deslocamento dos *pellets*.

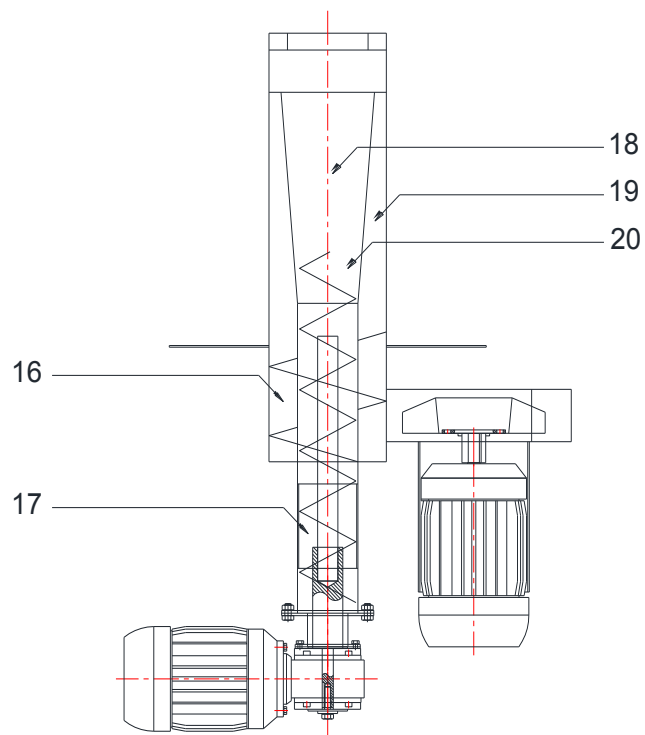


Figura 17 - Vista superior do queimador de *pellets*.
Fonte: o Autor.

A figura 18, mostra o desenho da vista posterior do queimador de biomassa, com o motor e o redutor.

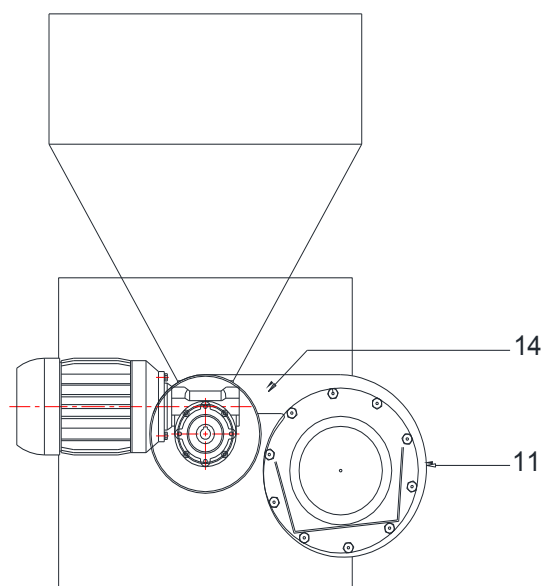


Figura 18 - Vista posterior do queimador de *pellets*.
Fonte: o Autor.

A figura 16, mostra o desenho da vista frontal do queimador de biomassa, com o detalhe do bocal.

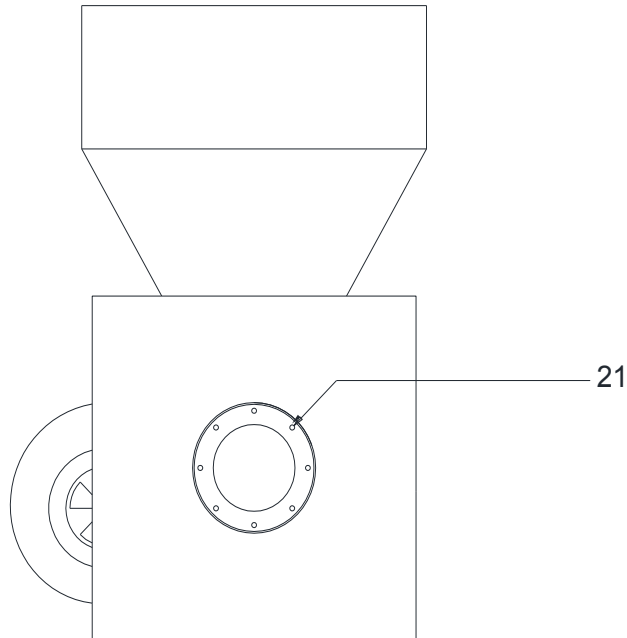


Figura 19 - Vista frontal do queimador de *pellets*.
Fonte: o Autor.

Os desenhos; 15, 16,17,18 e 19 mostram os componentes do Queimador de biomassa e as suas características construtivas, como alimentador, ventilador, helicóide guia e outras soluções de desenho e disposições das peças, o fluxo de ar e a passagem do combustível, que são objetos deste trabalho.

Em correspondência ao quanto demonstram as figuras relacionadas acima, este novo design de um "queimador de biomassa automatizado com microcontrolador" tem como novas características principais: uma câmara de combustão cônica (1), uma entrada tangencial (14) da saída do ventilador (11) no tubo externo (2), uma helicóide guia (3) para o direcionamento do ar de alimentação (carburente), que é proveniente de um ventilador (11) centrífugo com rotor de pás curvadas para trás, a câmara de combustão cônica (1) possui múltiplos orifícios (8) e anteparos côncavos (9), para forçar a entrada do ar com um movimento de rotação no interior da câmara de combustão cônica (1).

Este queimador apresenta como diferencial inovativo, o fornecimento de combustível de forma gradual, com o auxílio de um microcontrolador, ou seja, quando a temperatura estiver chegando perto do limite superior, a alimentação de

pellets diminui gradualmente e quando a temperatura de controle começa a diminuir, a alimentação de pellets aumenta progressivamente. A alimentação de ar (combustante) de forma helicoidal com a instalação da saída do ventilador (11) centrífugo tangencialmente ao tubo externo (2) do queimador e sendo guiado por uma helicóide (3) entre o tubo externo (2) e o tubo de alimentação de pellets (4), com a finalidade de aumentar o percurso do ar dentro da câmara de combustão cônica (1), além de homogeneizar a mistura do ar com os gases da combustão, uma câmara de combustão cônica (1) para manter a pressão e a velocidade do ar constante em todo o seu comprimento, múltiplos orifícios(8) e pequenos anteparos côncavos (9), distribuídos ao longo do comprimento da câmara de combustão cônica (1), para formar um vórtice dentro da câmara de combustão cônica (1).

As figuras 15, 16, 17, 18 e 19; ilustram um queimador de biomassa automatizado com microcontrolador, com uma rosca helicoidal (10), acoplada ao motorreductor (15), para o deslocamento (17) dos pellets, que são armazenados no silo (13), pela rosca helicoidal (10) interna ao tubo do alimentador (4) ligado por um eixo ao redutor (15), que é acionado pelo motor elétrico (5), até a câmara de combustão cônica (1) centralizada na sua parte dianteira pelo disco centralizador (7), com orifícios axiais (21). O suprimento de ar (combustante) para a combustão, que é proveniente de um ventilador (11) centrífugo com rotor de pás curvadas para trás, acionado por um motor elétrico (12), com entrada tangencial (14) no tubo externo (2), e em contato com a parede externa do tubo do alimentador de pellets (4), e a helicóide (3), o ar (combustante) desloca-se percorrendo o espaço (16) em forma helicoidal até encontrar os anteparos (9), que são fixos na parede externa da câmara de combustão cônica (1), entrando pelos múltiplos orifícios (8), até encontrar os pellets na câmara de combustão cônica (1), no espaço (18), onde acontece a combustão dos pellets na presença com o ar (combustante), que entra pelos múltiplos orifícios (8) com a função de secar o combustível e iniciar a combustão, caracterizando uma alimentação primária (20) de ar (combustante), formando um vórtice com os produtos da combustão, percorrendo com o formato helicoidal, o espaço interno (18), sendo alimentado por mais ar (combustante), provenientes dos múltiplos orifícios (8) distribuídos ao longo do comprimento da câmara de combustão cônica (1), caracterizando uma alimentação secundária (18) de ar (combustante), aumentando assim o percurso dos gases de combustão dentro da câmara de combustão cônica (1) e com o aumento do percurso, os gases permanecem por um

tempo maior na zona de queima, para que ocorram todas as reações da combustão, eliminando os gases que formam o monóxido de carbono (CO) e impedindo a formação dos óxidos de nitrogênio (NO_x), formadores das incrustações. No disco centralizador (7), os orifícios axiais (21) permitem uma pequena passagem de ar (combustante), caracterizando uma terceira alimentação de ar (combustante), com o objetivo de: diminuir a pressão do ar proveniente do ventilador (11), resfriar a câmara de combustão cônica (1), o disco centralizador (7), arrefecer a tampa do bocal de queima (6) e suprir a falta de oxigênio para as reações químicas da combustão, aumentando assim a vida útil da câmara de combustão cônica (1), do disco centralizador (7) e da tampa do bocal de queima (6), diminuindo as emissões de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NO_x), ácido sulfúrico (SO₂) e deslocando as cinzas.

A câmara de combustão de forma cônica para manter a velocidade de fornecimento de ar primário e secundário constante, no espaço (19) da figura 17, onde o aumento do diâmetro diminui a área externa (19) da câmara de combustão e aumenta a área interna (18) para a área (20) da figura 11, favorecendo assim o fluxo dos gases gerados na queima.

Uma tabela com algumas anterioridades que descrevem sobre queimadores de biomassa ou de pellets e as suas principais características encontradas são comparadas com o presente modelo desenvolvido e é apresentado na tabela 1 abaixo, onde:

Ins. Ar Helic. = Insuflamento de ar Helicoidal entre o tubo externo e a câmara de combustão.

Hel. Guia = Helicóide para guiar o ar entre o tubo externo e o tubo do alimentador.

Ant. Con. = Anteparos côncavos na parede externa da câmara de combustão para direcionar o ar.

Aut. Al. Gd. = Automatização da alimentação de forma gradual com Arduíno.

Aq. Ca.Com. = Aquecimento da câmara de combustão pela centralização da chama.

Vórt. Chama = Vórtice da chama na câmara de combustão.

Pq = Pequeno.

Gd = Grande.

Md = Médio.

Tabela 1 comparação entre as patentes pesquisadas e o Queimador de Biomassa Automatizado com Microcontrolador.

| Número do Registro da Patente | Ins. Ar Helic. | Helic. guia | Ant. Conc. | Aut. Al. Gd. | Aquec. Ca. Com. | Pressurização Dos Gases | Percurso dos Gases | Vórt. Chama |
|-----------------------------------|----------------|-------------|------------|--------------|-----------------|-------------------------|--------------------|-------------|
| Queimador de Biomassa Aut. Micro. | Sim | Sim | Sim | Sim | Não | Não | Gd | Alto |
| KR20170009166 (A) | Não | Não | Não | Não | Sim | Sim | Pg | Não |
| WO2016056930 (A2) | Não | Não | Não | Não | Sim | Sim | Pg | Não |
| PL409524 (A1) | Não | Não | Não | Não | Md | Sim | Md | Não |
| CN102537939 (A) | Md | Não | Não | Não | Md | Md | Md | Não |
| US2011297110 (A1) | Md | Não | Não | Não | Sim | Sim | Md | Md |
| WO8301671 (A1) | Não | Não | Não | Não | Sim | Md | Pg | Não |
| WO2004111535 (A1) | Não | Não | Não | Não | Md | Sim | Pg | Não |
| CN108167856 (A) | Não | Não | Não | Não | Sim | Sim | Md | Md |
| CN106524133 (A) | Não | Não | Não | Não | Md | Sim | Pg | Não |
| CN106152168 (A) | Não | Não | Não | Não | Sim | Sim | Md | Não |
| CN202082914 (U) | Não | Não | Não | Não | Md | Sim | Pg | Não |
| WO98/39600 | Md | Não | Não | Não | Sim | Sim | Pg | Não |
| BR 11 2017 002300 8 A2 | Não | Não | Não | Não | Sim | Sim | Pg | Não |
| BR 11 2015 012071 7 | Não | Não | Não | Não | Sim | Sim | Pg | Não |
| PI 1001478-0 A2 | Não | Não | Não | Não | Sim | Sim | Pg | Não |
| MU 8802028-2 U2 | Não | Não | Não | Não | Sim | Sim | Pg | Não |
| PI 0804291-8 B1 | Não | Não | Não | Não | Sim | Sim | Pg | Md |
| PI 0110229-0 | Não | Não | Não | Não | Sim | Sim | Pg | Não |

Tabela 1 - comparação entre as patentes pesquisadas e queimador de biomassa.
Fonte: O Autor.

Para minimizar os custos de fabricação, foram usados componentes comerciais, como por exemplo: o tubo do alimentador (4), é usado um tubo de aço SAE 1020 com costura e espessura de 1,5mm (chapa número 16) e diâmetro de 76,2mm; o tubo externo (2), é utilizado um tubo de aço SAE 1020 com costura e espessura de 2,0mm (chapa número 14) e diâmetro de 152,0mm; a rosca helicoidal (10) é empregado um helicóide de aço SAE 1045 com perfil retangular de 5,0mm de espessura e 12,0mm de altura, com um diâmetro externo de 75,0 mm e passo de 40,0mm.

O programa desenvolvido para o microcontrolador Arduino foi testado e ajustado, conforme o Apêndice 1.

Os resultados do teste de simulação, apresentado no monitor serial do software de programação e desenvolvimento (IDE), entre a comparação da temperatura do ambiente do sensor NTC e a temperatura anterior, com a variação gradual do tempo de alimentação, consta na tabela, conforme Apêndice 2; temperatura do sensor NTC do ambiente (S.NTC °C), comparado com uma temperatura anterior (TempAnt °C), sendo menor a temperatura anterior o tempo é diminuído em 25 milissegundos e quando é maior ou igual, este tempo é aumentado em 25 milissegundos, em um intervalo de 800 a 1250 milissegundos. Nesta tabela, pode-se acompanhar o comportamento da variação do tempo de alimentação em relação a alteração da temperatura do ambiente.

A figura 20 apresenta o fluxograma para a programação no microcontrolador Arduino, com o início após o acionamento do botão de partida, e a comparação entre a temperatura do ambiente e a temperatura ideal. Se for menor, liga-se o ventilador dos gases e carrega um tempo para alimentar os pellets, passado o tempo alimentando, carrega-se outro temporizador para permanecer um tempo sem alimentar, quando a temperatura dos gases atingir um valor, liga-se o ventilador de circulação para o resfriamento do equipamento. No decorrer do funcionamento compara-se a temperatura atual com a temperatura anteriormente armazenada, e se este valor for maior, diminui-se 25 milissegundos do tempo de alimentação corrigido ou caso contrário o tempo de alimentação corrigido é acrescido de 25 milissegundos, quando este atingir 800 ou 1250 milissegundos o tempo de alimentação corrigido volta a ser o inicial de 1000 milissegundos. Quando a temperatura ideal for alcançada, desliga-se o ventilador dos gases e o ventilador de circulação, que também desliga se a temperatura dos gases baixar de um valor limite.

Onde:

Partida = Botão de início;

TpAn = Temperatura Anterior;

TpAt = Temperatura Atual;

Tpld = Temperatura Ideal;

TpAb = Temperatura Ambiente;

Tpg = Temperatura dos gases;

Vent. G. = Ventilador do gases;

Vent. Circ. = Ventilador de circulação;

TA = Tempo Alimentando;

TAC = Tempo alimentação corrigido;

Tpd = Tempo sem alimentar.

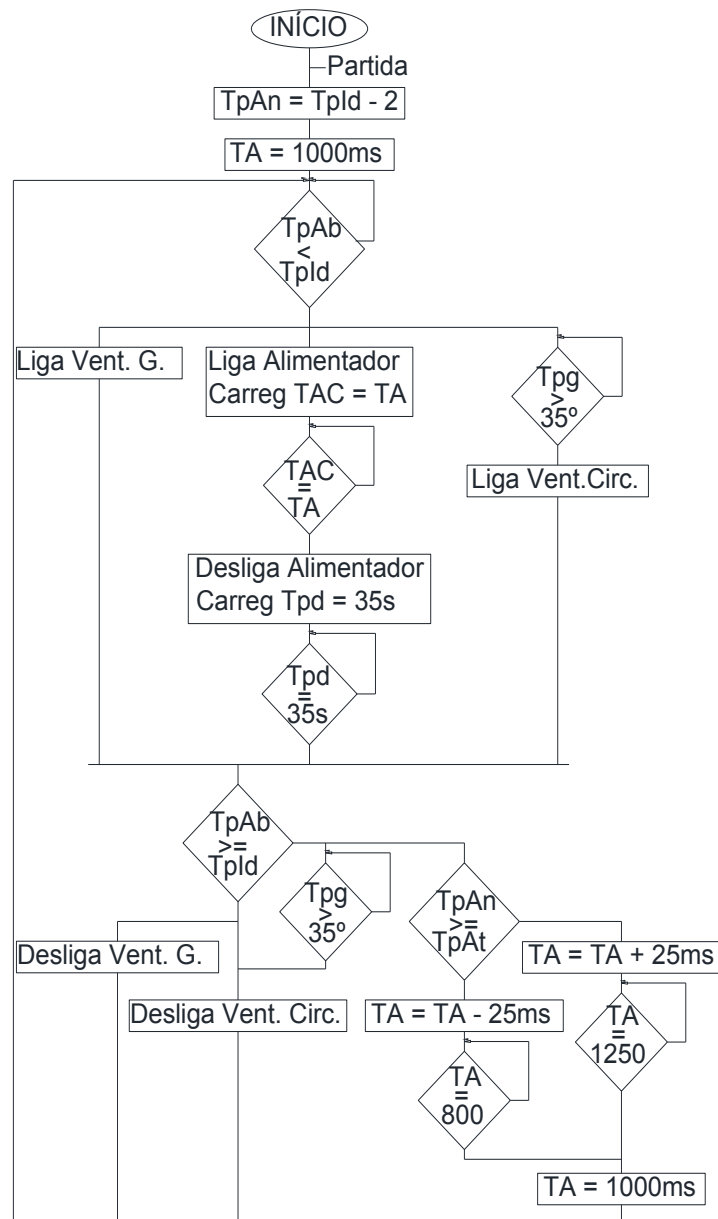


Figura 20 - Fluxograma para programação
Fonte: O Autor

A figura 21 abaixo mostra o queimador de biomassa em funcionamento;

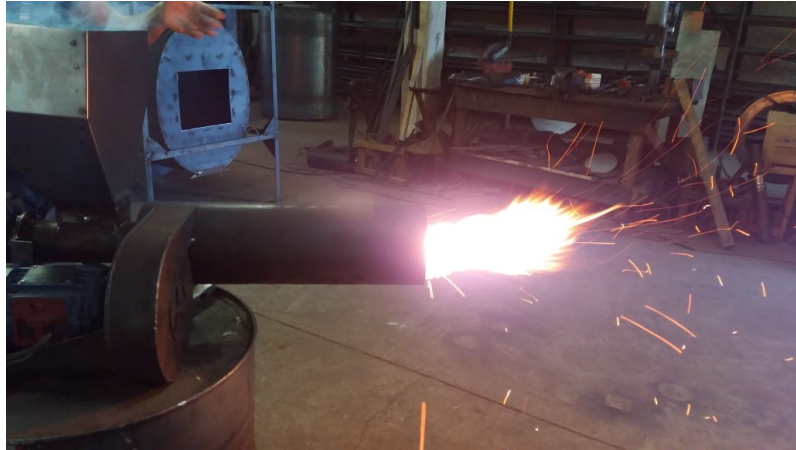


Figura 21 - Queimador de biomassa
Fonte: O Autor

A figura 22 abaixo demonstra a rotação da chama;
a - no momento da alimentação de *pellets*;
b - no intervalo da alimentação de *pellets*.

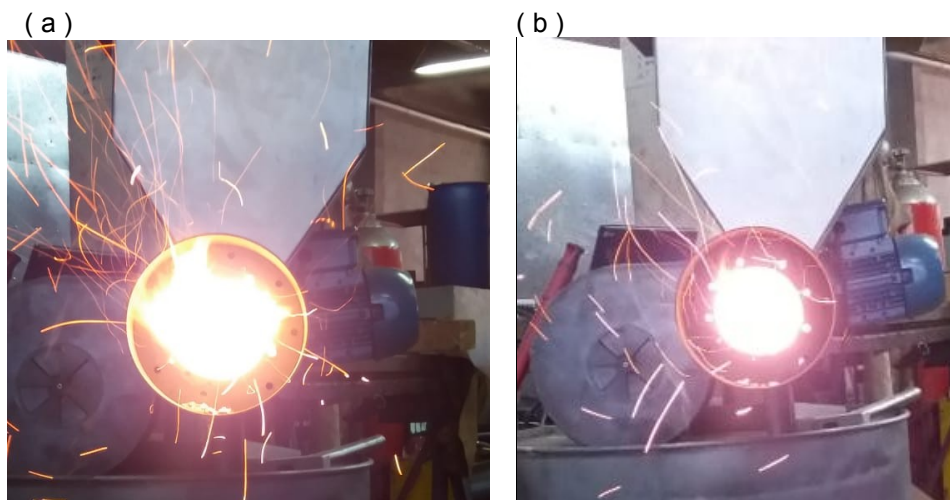


Figura 22; a - momento alimentação de pellets; b - intervalo alimentação de pellets
Fonte: O Autor

A figura 23 exibe a montagem do Arduino, com as ligações; do sensor de temperatura digital NTC, sensor de temperatura thermistor tipo k (pt-100), módulo relé 5volts 4 canais e as contactoras para acionamento do motores elétricos.

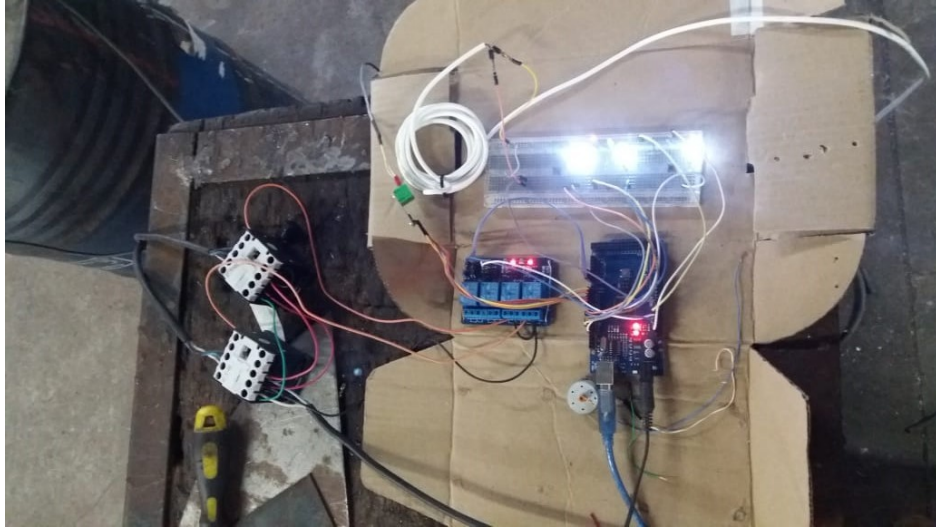


Figura 23 - Módulo do Arduino
Fonte: O Autor

A figura 24 mostra dois queimadores de pellets em operação para comparação, nos dois exemplos, a chama sai axialmente do bocal onde;

- a - possui uma chama muito fraca e com desperdício de combustível;
- b - apresenta uma chama pequena e com excesso de ar.

(a)



(b)



Figura 24 - a - possui uma chama muito fraca e com desperdício de combustível;
b - apresenta uma chama pequena e com excesso de ar.
Fonte: Matias, 2016.

Fonte: Dück, (2013).

A figura 25 mostra um queimador de pellets em operação para comparação e exemplo para os objetivos esperados, fazendo-se uma comparação, com o comprimento da chama, este possui uma chama mais comprida, mas o diâmetro do bocal também é maior.



Figura 25 - Queimador de pellets circular
Fonte: Petkovic, (2018).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na construção do protótipo as divergências apareceram em um primeiro teste prático onde mostrou-se incoerente com o estabelecido. Após uma análise dos resultados, percebeu-se que a queima era muito insuficiente perto das expectativas, mas a idéia da rotação da chama era confirmada, porém jogava muito material incandescente para fora do bocal, ocasionado pelo excesso da vazão de ar, principalmente da alimentação secundária, decorrente dos orifícios muito grandes e em quantidades elevadas. Construiu-se uma nova câmara de combustão cônica, com os orifícios menores e em menos quantidades, e em um segundo teste, os problemas persistiram e o ar de alimentação tinha mais vazão no final da câmara de combustão. e Então, para diminuir o abastecimento do ar secundário e aumentar a vazão do ar primário, foi instalado pequenos anteparos, em todos os orifícios, com o formato de um semicírculo, na parede externa, depois dos orifícios de passagem do ar na câmara de combustão cônica, para aumentar assim uma entrada de ar para o abastecimento primário e para diminuir a quantidade de ar para a alimentação secundária. Ao realizar um novo teste prático, notou-se que os pellets queimavam onde entrava a alimentação de ar primária, mas o fornecimento de ar secundário rotacionava os pellets na parte final da câmara de combustão cônica com muita força e os lançava para fora do bocal ainda incandescentes. Para diminuir a vazão de ar, foram retirados os anteparos nos orifícios finais do cone, e foram feitos alguns orifícios na tampa centralizadora da câmara de combustão cônica, onde então os pellets pararam de ser lançados para fora do bocal. Porém a chama continuava pequena. Observando a queima, notava-se que nos locais onde tinha os orifícios a chama se mantinha, surgindo assim a necessidade de mais orifícios para aumentar a combustão e o tamanho da chama. Concluindo desta forma que é necessário uma quantidade maior de orifícios com diâmetros menores para conseguir uma abrangência em toda a extensão da câmara de combustão e a distribuição ao longo do comprimento axial da câmara de combustão segue o mesmo raciocínio, ou seja, uma pequena distância entre os orifícios. Assim, a alimentação do ar primário realiza a combustão dos pellets e o abastecimento do ar secundário executa a queima dos gases voláteis. O ar entrando tangencialmente ao tubo externo e sendo guiado por uma helicóide entre o tubo externo e o tubo do alimentador, deslocando-se

externamente a câmara de combustão cônica e direcionada pelos pequenos anteparos côncavos para entrar na câmara de combustão com rotação, é comprovada pela formação do vórtice da chama, e assim tem-se um percurso do ar maior com um aumento do tempo de permanência dos gases de combustão para realizar todas as reações químicas, eliminando a liberação de materiais voláteis visíveis através da formação de fumaça de cor escura, diminuindo a emissão de monóxido de carbono (CO), mantendo uma temperatura adequada para minimizar a formação de óxidos de nitrogênio (NO_x) e as incrustações pela fusão das cinzas ocasionadas pelas altas temperaturas na câmara de combustão, diminuindo a quantidade de cinzas que surgem pela queima incompleta.

A rotação da chama cria um regime turbulento que uniformiza o fluxo dos gases e assegura uma distribuição homogênea da temperatura. Outro fator importante observado na rotação dos gases, consiste da queima ocorrer no centro da câmara de combustão, impedindo, assim o aquecimento das paredes, resultados obtidos pela confirmação da melhora da geometria da combustão na câmara.

A alimentação dos pellets de forma gradual, mantém a câmara de combustão com a quantidade de combustível suficiente para a geração de calor necessária, ou seja, quando a temperatura de controle baixa de um valor de referência, o microcontrolador, aumenta a alimentação de pellets de forma gradual e quando a temperatura de controle estiver próximo do valor de referência, o microcontrolador diminui a alimentação do combustível de forma gradual, mantendo um volume de combustível necessário, sem um acúmulo de pellets na câmara de combustão, evitando assim, que quando a temperatura atingir o valor de referência, a câmara de combustão esteja cheia de combustível e o mesmo queime sem aproveitar o calor gerado, ou quando a temperatura de referência baixe do limite pré-definido, o combustível alimentado ultrapasse a quantidade máxima da câmara e encubra os pellets incandescente impedindo a circulação de oxigênio e quando o ventilador ligar para aquecer o fogo esteja apagado.

Na possibilidade de instalar um sensor de oxigênio, surgiram algumas dificuldades, por exemplo:

a - A posição para a instalação, que deve ser na saída da chaminé, necessitando assim estar acoplado a um trocador de calor, onde os gases estão a uma temperatura mais baixa e homogênea, no caso do queimador se o sensor for instalado na saída da câmara de combustão, este sofrerá a interferência do ar de

alimentação liberada pelo disco centralizador e também uma temperatura que excede a sua capacidade de medição.

b - O sensor lambda, indica uma posição de mistura rica, falta de oxigênio ou uma mistura pobre, sobra de oxigênio, ou seja, a relação do ar com o combustível é ideal quando lambda for igual a um, mas para a queima de pellets, precisa-se uma porcentagem de excesso de ar, que pode ser de 10% a 40%, e neste caso, o sensor de oxigênio precisa ser calibrado para essa faixa de medição, fazendo um acompanhamento da tensão gerada e a quantidade de oxigênio presente nos gases da combustão.

CONCLUSÃO

A construção do queimador de biomassa automatizado com microcontrolador Arduíno foi concluído, atingindo os objetivos propostos; o programa desenvolvido para a Arduíno na linguagem wiring (C++) conforme apêndice 1; a alimentação de pellets automatizada com o Arduíno de forma gradual controlada pela temperatura do ambiente, fica demonstrado pelos dados da tabela do apêndice 2; é perceptível a interferência da quantidade e o diâmetro dos orifícios, na qualidade, na quantidade da chama e na geração dos gases; a rotação da chama fica evidenciada pela formação do vórtice, confirmando assim o aumento do tempo de permanência dos gases dentro da câmara de combustão; a confirmação de um aperfeiçoamento da geometria da combustão por manter a chama no centro da câmara de combustão; eliminação de materiais voláteis não queimados pela ausência de fumaça; é visível um resfriamento da câmara de combustão cônica, revelado pela ausência de carepas (asperezas) na parede externa.

REFERÊNCIAS

BIOENERGIA, Manual sobre tecnologias, projecto e instalação, *GREENPRO* 2002 - 2004; Portugal

BENFENATI, Alberto; [IT]; "**Queimador**", número de registro BR 11 2015 012071 7, de 27/11/2013, pesquisado em: <https://gru.inpi.gov.br>, na data de 02/05/2019.

Bosch: Oxygen sensors. Disponível em: <https://www.boschautoparts.com/en/auto/oxygen-sensors>. Acesso em 11/05/2019.

BRZESKI, Michal [PL]; "**The unit for supplying air to the combustion chamber of a pellet burner**", número de registro WO2016056930(A2) de 14/04/2016, pesquisado em: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

BRZESKI, Michal [PL]; "**Shield of combustion chamber in the pellet burner**", número de registro PL409524(A1) de 29/03/2016, pesquisado em: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

CARVALHO, Lara; WOPIENKA, Elisabeth; POINTNER, Christian; LUNDGREN, Joakim; VERMA, Vijay Kumar; HASLINGER, Walter; SCHMIDL, Christoph; Performance of a pellet boiler fired with agricultural fuels." **Applied Energy** 104,286–296. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.058>.

COLLATTO, D.C., MANSILHA, R.B., CHWIACOWSKY, L.D., LACERDA, D.P. Avaliação de fontes de energia para o aquecimento de ambientes na produção de frango de corte no sul do Brasil: uma análise multicritério. XLVII Simpósio brasileiro de pesquisa operacional. Porto de Galinhas, 2015.

CUI, Xianglong; CUI, Chunhe; e YANG, Lei; "**Rotary type burner**", número de registro CN106524133 (A) de 22/03/2017, pesquisado em: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

DILPREET, S. Bajwaa; TYLER, Petersona; NEETA, Sharmab; JAMILEH, Shojaeiarania; SREEKALA, G. Bajwac; A review of densified solid biomass for energy production

^a Department of Mechanical Engineering, North Dakota State University, Fargo, ND 58102, United States

^b ENEA Research Centre Trisaia, Rotondella, MT 75026, Italy

^c Department of Agricultural and Biosystems Engineering, North Dakota State University, Fargo, ND 58102, United States, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 25 July 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.040>

DÜCK, T.H.Medeiros; **Desenvolvimento e construção de um queimador semiautomático de pellets de madeira**. Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Regional do Noroeste

do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Trabalho de Conclusão de Curco- TCC, Panambi-RS. 2013

ERICSON, Jan [SE]; **"Burner for solid fuel and method of controlling the supply of air to a burner"**, número de registro WO9831968(A1) de 23/07/1998, pesquisado em: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

ESKILSSON, David; RÖNNBACK, Marie; SAMUELSSON, Jessica; TULLIN, Claes; Optimisation of efficiency and emissions in pellet burners, **Biomass and Bioenergy**, SP Swedish National Testing and Research Institute, Box 857, S-501 15 **Boras**, Sweden, 2004.

FIEDLER, Frank; The state of the art of small-scale pellet-based heating systems and relevant regulations in Sweden, Austria and Germany Solar Energy Research Center SERC, Department of Mathematics, Natural Sciences and Technology, Dalarna University College, S-7188 Borla" nge, Sweden, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 14.11.2003.

HAKALA, Vesa [FI]; **"Burner for pellets"**, número de registro WO2004111535(A1) de 23/12/2004, pesquisado em: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

INGVARSSON, Robert [SE]; **"Combustion device"**, número de registro WO02/088597, de 13/06/2006, pesquisado em: <http://patft.uspto.gov>, na data de 27/03/2019.

KEYONG, Du; e ZHEKE, Zhong; **"Biomass energy burner provided with shifting fork at feed inlet"**, número de registro CN202082914(U) de 21/12/2011, pesquisado em: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

KIM, Mi Soon [KR]; I, Jae Du [KR]; e LEE, Kang Sun [KR]; **"Horizontal type biomass semi-distilled high temperature burner"**, número de registro KR20130118019(A) de 29/10/2013, pesquisado em: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

KLEINBERGS, Valdis [LV]; **"Burner of hard biomass together with rotating combustion chamber"**, número de registro LV14651 (A) de 20/03/2013, pesquisado em: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

KUBLINSKIS, Leonids [LV]; e PLŪME, Imants [LV]; **"Three-chamber pellets burner"**, número de registro LV14123(A) de 20/03/2010, pesquisado em: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

LI, Luxin; XUE, Hui; e XING, Yanlei; **"Novel biomass particle burner"**, número de registro CN203907585 (U) de 29/04/2014, pesquisado em: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

LIU, Haibin; **"High efficient and environmental friendly biomass energy powder burner"**, número de registro CN108361691 (A) de 03/08/2018, pesquisado em:

<https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

LIU, Minli; **"Energy-concerning and environment-protective burner of high-efficient burning biomass"**, número de registro CN205137436(U) de 06/04/2016, pesquisado em: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

LOPES, R.P.; OLIVEIRA FILHO, D.; DONZELES, S.M.L.; FERREIRA, W.P.M., "**Controle da combustão em fornalhas a lenha**". tese de doutorado do curso de Energia na Agricultura, Universidade Federal de Viçosa, UFV/DEA. Viçosa - MG. 2003.

MAGNUSSON, Jan [SE]; **"Rotary burner for solid fuel"**, número de registro WO98/39600 de 20/03/2001, pesquisado em: <http://patft.uspto.gov>, na data de 27/03/2019.

MALATÁK, Jan; BRADNA, Jiří; Heating and emission properties of waste biomass in burner furnace. **Research in Agricultural Engineering** 63(1), pp. 16-22. 201, 2017 scopus <https://doi.org/10.17221/75/2015-RAE>

MALATESTA, Charles A. [US]; ARSENAULT, Mark D [US], **"Wood pellet burner for existing boilers an furnaces"**, número de registro US2011297110(A1) de 08/12/2011, pesquisado em: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

MAZAU, Sérgio Valdemiro Francisco Alves; **Desenvolvimento e teste de um protótipo funcional de um queimador de pellets**. Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro Departamento Engenharia Mecânica Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro. 2007.

MCKENDRY P. Produção de energia a partir de biomassa (parte 1): visão geral da biomassa. **Bioresour Technol** 2002; 83: 37-46

MATIAS, Valentim Campos, **Projeto de um Queimador para Biomassa Automático**, Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Mestrado em Projeto e Produção Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Escola Superior de Tecnologia de Abrantes, Instituto Politécnico de Tomar ,2016.

MLADENOVIC, Milica; PAPRIKA, Milijana; MARINKOVIC, Ana; Denitrification techniques for biomass combustion University of Belgrade, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Laboratory of Thermal Engineering and Energy, Mihaila Petrovića Alasa 12-14, 11351 Belgrade, Serbia, 26.10.2017.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.054>

MONACELLI, John E.; e LARUE, Alberto D.; **"Queimador de biomassa por jato de ar central"**, número de registro PI 1001478-0 A2, de 29/04/2010, pesquisado em:

<https://gru.inpi.gov.br>, na data de 02/05/2019.

MEGATHERM. Fábrica de queimadores a pellets. Grécia. Disponível em <<http://www.megatherm.gr/>>. acessado em setembro de 2019.

NARISAWA, Michinori; IWAMOTO, Noriyuki; e ICHIKAWA Kodai; **"Burner"**, número de registro JP2017089899 (A) de 25/05/2017, pesquisado em: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

ÖRBERG, H; JANSSON, S; KALÉN, G; THYREL, M; XIONG, S; Combustion and slagging behavior of biomass pellets using a burner cup developed for ash-rich fuels. **Energy and Fuels** 28(2), pp. 1103-1110, Swedish University of Agricultural Sciences, SE-901 83 Umeå, Sweden, JAN 16, 2014. DOI: 10.1021/ef402149j.

ORJALA, Markku [FI]; **"Burner for pellets"**, número de registro WO8301671(A1) de 11/05/1983, pesquisado: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

PARK, Toung Tae [KR]; **"Wood pellet burner"** registro número KR20170009166(A), de 25/01/2017, pesquisado em: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

PETKOVIC, Dalibor; Small to Medium Burners for Agricultural Pellets, University of Niš, Pedagogical Faculty in Vranje, Partizanska Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials 14,17500 Vranje, Serbia, 2018.
doi:10.1016/B978-0-12-803581-8.11120-8

PRADHAN, Priyabrata^a; MAHAJANI, Sanjay M.^b; ARORA, Amit^a; Production and utilization of fuel pellets from biomass: A review
^a *Centre for Technology Alternatives for Rural Areas, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai 400076, India*
^b *Chemical Engineering Department, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai 400076, India*, Fuel Processing Technology, <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.09.021>, 25 September 2018.

RACY, Gisela de Lima; **"Queimador horizontal de biomassa"**, número de registro MU 8802028-2 U2 de 21/07/2008, pesquisado em: <https://gru.inpi.gov.br>, na data de 02/05/2019.

RASTVOROV, D. V; OSINTSEV, K. V; & TOROPOV, E. V; Influence of burner form and pellet type on domestic pellet boiler performance. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 87, 032034. Local: Saint Petersburg Mining Univ, Saint Petersburg, RUSSIA Data: MAR 23-25, 2017 <http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/87/3/032034>.

RENDEIRO, G.; NOGUEIRA, M.F.M.; BRASIL, A.C.M.; CRUZ, D.O.A.; GUERRA, D.R.S.; MACÊDO, E.N.; ICHIHARA, J.A., **"Combustão e gasificação de biomassa sólida"**, Brasília : Ministério de Minas e Energia, 2008. 192p. – (Soluções energéticas para a Amazônia).

RICCI, Louis; e LE PIVER, Gaël; "**queimador de pellets**", número de registro BR 11 2017 002300 8 A2, de 25/06/2015, pesquisado em: <https://gru.inpi.gov.br>, na data de 02/05/2019.

RONG, Xiong; WANG; Decheng; HE, Changbin; FU, Jinghong; Design of drum-type biomass burner **American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting**, 1. College of Engineering, China agricultural university, Beijing, China. ASABE Paper Number: 162460629 July 17-20, 2016. DOI: 10.13031/aim.20162460629.

SCHOPF, Norbert; "**Aperfeiçoamento em queimador de combustíveis de baixo poder calorífico para vinhaça e palha em pó**", número de registro PI 0804291-8 B1 de 30/09/2008, pesquisado em: <https://gru.inpi.gov.br>, na data de 02/05/2019.

SCOTT, Franklin [AU]; "**Queimador de biomassa**", número de registro PI 0110229-0 de 27/04/2001, pesquisado em: <https://gru.inpi.gov.br>, na data de 02/05/2019.

TAE. Park,Toung [KR]; "**Pellets and burner**", número de registro KR20170009166 (A), de 25/01/2017, pesquisado em: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

VIERLE, O; LAUNHARDT, T; STREHLER, A; DUMLER-GRADL, R; THOMA, H; SCHREINER, M; Investigation of organic pollutants from house heating systems using biogenic fuels and correlations with other exhaust gas components. **Analytica Chimica Acta**, 393: 131–140.1999. [https://doi.org/10.1016/S0003-2670\(99\)00188-9](https://doi.org/10.1016/S0003-2670(99)00188-9).

WANG, Xuewen; WANG, Yonglu; WANG, Yongfu; e WANG, Qiang; "**Packing auger device special for biomass particle burner**", número de registro CN108167856 (A) de 15/06/2018, pesquisado em: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

XIAO, Jilin; LU, Dun; WEN, Huazhong; FU, Wenzhe; QUAN, Peng; BAI, Jiancheng; ZHENG, Xiaobing; XU, Bin; e WANG, Man; "**Inner cylinder rotating type biomass particle burner**", número de registro CN106152168 (A) de 23/11/2016, pesquisado em: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

XIKUN, Di; e YANBAO, Zhang; "**Rotary water-cooled spray-burning type biomass particle burner**", número de registro CN102537939 (A) de 04/07/2012, pesquisado em: <https://worldwide.espacenet.com>, na data de 16/04/2019.

ZANDECKIS, A; KIRSANOV, V; DZIKEVICS, M; BLUMBERGA, D; Experimental study on the optimisation of staged air supply in the retort pellet burner. **Agronomy Research**, 11: 381–390. 2013 Riga Technical University, Institute of Energy Systems and Environment, Kronvalda blvd. 1, Riga, LV-1010, Latvia.

APÊNDICE 1

Programa desenvolvido para o microcontrolador Arduino em linguagem wiring (C++)

```
#include <max6675.h>
#include <Thermistor.h>

float templdeal = 32; // temperatura desejada
float df = 2; // diferencial de temperatura
float tempInf = (templdeal - df); // temperatura inferior
int Vbotao = 7; // botão de liga/desliga
int statusbotao = 1; //variavel interna
int botaoAtual=0; // variavel interna
int Vled = 13; // Led indicativo de ligado
int MVER = 14; // relé ventilador gases
int MAR = 15; // relé alimentador pellets
int MVCR = 16; // relé ventilador circulação de ar
int MVE = 8; // Led Ventilador dos gases quentes
int MA = 9; // Led alimentador de pellets
int MVC = 10; // Led ventilador de circulação de ar
int MAD = 11; // led alimentador de pellets desligado
int tempo = 1000;
float temperatura;
float thermistor;
float sensorNtc = temperatura;
Thermistor temp(A0);

float temperature;
float tempAnt = 0;
int contadorLoops = 0;

int thermoDO = 4;
int thermoCS = 5;
int thermoCLK = 6;

MAX6675 thermocouple(thermoCLK, thermoCS, thermoDO);
int vccPin = 3; // tensão no relé
int gndPin = 2; // terra no relé

void setup() {
  Serial.begin(9600); // use Arduino pins

  pinMode(vccPin, OUTPUT); digitalWrite(vccPin, HIGH);
  pinMode(gndPin, OUTPUT); digitalWrite(gndPin, LOW);
  Serial.println("MAX6675 test");
  pinMode(Vbotao, INPUT); // sinal entrada
  pinMode(Vled, OUTPUT); // sinal saída
```

```
pinMode(MVER, OUTPUT); // sinal saída
pinMode(MAR, OUTPUT); // sinal saída
pinMode(MVCR, OUTPUT); // sinal saída
```

```
pinMode(MVE, OUTPUT); // sinal saída
pinMode(MAD, OUTPUT); // sinal saída
pinMode(MA, OUTPUT); // sinal saída
pinMode(MVC, OUTPUT); // sinal saída
delay(100); // wait for MAX chip to stabilize
}
```

```
void loop() {
  // basic readout test, just print the current temp
  temperature = thermocouple.readCelsius();
  Serial.print("Sensor k °C = ");
  Serial.println(temperature);
  Serial.print("Sensor k °F = ");
  Serial.println(thermocouple.readFahrenheit());

  if (contadorLoops < 5){
    contadorLoops++;
  }
  else{
    tempAnt = temperatura;
    contadorLoops = 1;
  }
  temperatura = temp.getTemp();
  Serial.print("Temp.Sensor NTC: ");
  Serial.print(temperatura);
  Serial.println("°C");
  delay(1000);

  statusbotao = digitalRead(Vbotao);
  if(statusbotao == HIGH){
    if (botaoAtual == 0){
      botaoAtual=1;
    }
    else
      botaoAtual=0;
  }
  Serial.print("tempAnt    = ");
  Serial.println(tempAnt);
  Serial.print("statusbotao = ");
  Serial.println (statusbotao);
  Serial.print("botaoAtual = ");
  Serial.println (botaoAtual);
  Serial.print("tempo = ");
  Serial.println(tempo);

  if (botaoAtual == 1){
```

```
digitalWrite(Vled, HIGH);
```

```
if (temperatura < tempInf && botaoAtual == 1){ // sensor ambiente < temperatura inferior
```

```
  if (temperature < 35) { // se sensor fogo < 35
    digitalWrite(MVE, HIGH); // led vent fogo ligado
    digitalWrite(MVER, LOW); // relé vent fogo ligado
    digitalWrite (MVC, LOW); //led vent circ desliga
    digitalWrite (MVCR, HIGH); //relé vent circ desligado
    digitalWrite (MA, HIGH); // led alimentação ligado
    digitalWrite (MAR, LOW); // relé alimentação ligado
    digitalWrite (MAD, LOW); // led não alimentando desligado
    delay(tempo); // tempo para alimentação 1,150s
    digitalWrite (MA, LOW); // led alimentação desligado
    digitalWrite (MAR, HIGH); // relé alimentação desliado
    digitalWrite (MAD, HIGH); // led não alimentando ligado
    delay(35000); // tempo não alimentando 35s
  }
```

```
  else
```

```
    if (temperatura <= tempInf && botaoAtual == 1){ //sensor do fogo
      if (temperature > 35){
        digitalWrite(MVE, HIGH); // led vent fogo ligado
        digitalWrite(MVER, LOW); // relé vent fogo ligado
        digitalWrite (MVC, HIGH); // led vent circ ligado
        digitalWrite (MVCR, LOW); // relé vent circ ligado
        digitalWrite(MA, HIGH); // led alimentação ligado
        digitalWrite (MAR, LOW); // relé alimentação ligado
        digitalWrite (MAD, LOW); // led não alimentando desligado
        delay(tempo); // tempo de 1 segundos
        digitalWrite (MA, LOW); // led alimentação desligado
        digitalWrite (MAR, HIGH); // relé alimentação desligado
        digitalWrite (MAD, HIGH); // led não alimentando ligado
        delay(36000); // tempo de 36 segundos
      }
    }
  }
```

```
  }
}
else
```

```
if (temperatura < tempInf && botaoAtual == 1){ // sensor do ambiente
  if (temperature < 32) { // se sensor do fogo < 33
    digitalWrite(MVE, HIGH); // led vent fogo ligado
    digitalWrite(MVER, LOW); // relé vent fogo ligado
    digitalWrite(MA, HIGH); // led alimentação ligado
    digitalWrite(MAR, LOW); // relé alimentação ligado
    digitalWrite (MAD, LOW); // led não alimentando ligado
    delay(tempo); // temporiza 1,2 segundos
    digitalWrite (MA, LOW); // led alimentação desligado
    digitalWrite (MAR, HIGH); // relé alimentação desligado
    digitalWrite (MAD, HIGH); // led não alimentando ligado
    delay(30000); // temporiza 30 segundos
  }
```



```

    }
}

if (temperatura > tempAnt && temperature > 29) {
    tempo = tempo - 25;
    Serial.print("tempo --- = ");
    Serial.println(tempo);
    delay(1000);
}

if(tempo < 800){
    tempo = 1000;
}

if (temperatura <= tempAnt && temperature > 29) {
    tempo = tempo + 25;
    Serial.print("tempo +++ = ");
    Serial.println(tempo);
    delay(1000);
}

if(tempo > 1250) {
    tempo = 1000;
}

if (temperature >= 35){ //sensor do fogo
    digitalWrite(MA, LOW); //led alimentador desligado
    digitalWrite (MAR, HIGH); //relé motor alimentador desligado
    digitalWrite (MVC, HIGH); //led ventilador circulação ligado
    digitalWrite (MVCR, LOW); //relé motor vent circulação ligado
    digitalWrite (MAD, HIGH); //led não alimentando ligado
}

if(temperatura >= templdeal || botaoAtual == 0) {
    digitalWrite(MA, LOW);
    digitalWrite(MVE, LOW);
    digitalWrite(MVC, LOW);
    digitalWrite (MAD, LOW);
    digitalWrite(MAR, HIGH);
    digitalWrite(MVER, HIGH);
    digitalWrite(MVCR, HIGH);
    digitalWrite(Vled, LOW);
    Serial.println("aperte botao");
}
}
}
}

```

APÊNDICE 2

Os resultados do teste de simulação, apresentados no monitor serial do software de programação e desenvolvimento (IDE), entre a comparação da temperatura do ambiente do sensor NTC e a temperatura anterior, com a variação gradual do tempo de alimentação.

Tabela de temperatura do termopar (S.TP K °C), temperatura do sensor NTC do ambiente (S.NTC °C), comparado com uma temperatura anterior (TempAnt °C), tempo anterior (Tempo Ant. mseg) e tempo atual (Tempo Atual mseg).

| S.TP K °C | S.NTC °C | Temp Ant(°C) | Tp.NTC #Tp.Ant | Tempo mseg | Novo T mseg |
|-----------|----------|--------------|----------------|------------|-------------|
| 0.00 | 26.70 | 0.00 | > | 1000 | |
| 30.50 | 26.70 | 0.00 | > | 1000 | 975 |
| 30.75 | 26.97 | 0.00 | > | 975 | 950 |
| 30.75 | 27.06 | 0.00 | > | 950 | 925 |
| 31.00 | 27.15 | 0.00 | > | 925 | 900 |
| 31.25 | 27.15 | 27.15 | = | 900 | 925 |
| 31.25 | 27.24 | 27.15 | > | 925 | 900 |
| 31.25 | 27.24 | 27.15 | > | 900 | 875 |
| 31.00 | 27.24 | 27.15 | > | 875 | 850 |
| 31.00 | 27.33 | 27.15 | > | 850 | 825 |
| 31.25 | 27.42 | 27.33 | > | 825 | 800 |
| 31.25 | 27.42 | 27.33 | > | 800 | 775 |
| 31.50 | 27.42 | 27.33 | > | 775 | 975 |
| 31.50 | 27.52 | 27.33 | > | 975 | 950 |
| 31.25 | 27.61 | 27.33 | > | 950 | 925 |
| 30.50 | 27.79 | 27.61 | > | 925 | 900 |
| 30.50 | 27.33 | 27.61 | > | 900 | 925 |
| 30.25 | 26.61 | 27.61 | = | 925 | 950 |
| 30.00 | 25.98 | 27.61 | > | 950 | 975 |
| 29.25 | 25.36 | 27.61 | < | 975 | 1000 |
| 29.50 | 25.54 | 25.36 | > | 1000 | 975 |
| 29.50 | 25.71 | 25.36 | > | 975 | 950 |
| 30.00 | 25.89 | 25.36 | > | 950 | 925 |
| 30.00 | 25.80 | 25.36 | > | 925 | 900 |
| 30.25 | 25.80 | 25.36 | > | 900 | 875 |
| 30.75 | 25.71 | 25.80 | < | 875 | 900 |
| 30.75 | 25.45 | 25.80 | < | 900 | 925 |
| 30.75 | 25.18 | 25.80 | < | 925 | 950 |
| 30.75 | 24.91 | 25.80 | < | 950 | 975 |
| 30.75 | 24.73 | 25.80 | < | 975 | 1000 |
| 31.00 | 24.64 | 24.73 | < | 1000 | 1025 |
| 31.25 | 24.56 | 24.73 | < | 1025 | 1050 |
| 30.75 | 24.56 | 24.73 | < | 1050 | 1075 |

| | | | | | |
|-------|-------|-------|----|--------------|------|
| 31.75 | 24.47 | 24.73 | < | 1075 | 1100 |
| 31.75 | 24.38 | 24.73 | < | 1100 | 1125 |
| 31.50 | 25.27 | 24.38 | < | 1125 | 1100 |
| 31.25 | 26.52 | 24.38 | > | 1100 | 1075 |
| 31.25 | 27.42 | 24.38 | > | 1075 | 1050 |
| 31.25 | 28.06 | 24.38 | > | 1050 | 1025 |
| 31.50 | 28.61 | 24.38 | > | 1025 | 1000 |
| 31.00 | 28.97 | 28.61 | > | 1000 | 975 |
| 31.25 | 29.34 | 28.61 | > | 975 | 950 |
| 31.25 | 29.43 | 28.61 | > | 950 | 925 |
| 31.50 | 29.53 | 28.61 | > | 925 | 900 |
| 31.75 | 28.06 | 28.61 | > | 900 | 925 |
| 31.75 | 26.97 | 28.06 | > | 925 | 950 |
| 31.25 | 26.34 | 28.06 | > | 950 | 975 |
| 32.00 | 25.71 | 28.06 | < | 975 | 1000 |
| 32.00 | 25.27 | 28.06 | < | 1000 | 1025 |
| 31.50 | 24.82 | 28.06 | < | 1025 | 1050 |
| 32.00 | 25.80 | 24.82 | > | 1050 | 1025 |
| 31.50 | 26.70 | 24.82 | > | 1025 | 1000 |
| 31.75 | 27.33 | 24.82 | > | 1000 | 975 |
| 31.50 | 28.24 | 24.82 | > | 975 | 950 |
| 31.50 | 28.97 | 24.82 | > | 950 | 925 |
| 31.50 | 29.62 | 28.97 | > | 925 | 900 |
| 31.50 | 30.08 | 28.97 | > | 900 | 875 |
| 31.50 | 30.08 | 28.97 | > | 875 | 850 |
| 31.25 | 30.08 | 28.97 | > | 850 | 825 |
| 31.50 | 30.18 | 28.97 | > | 825 | 800 |
| 31.25 | 30.27 | 30.18 | > | 800 | 775 |
| 31.50 | 30.27 | 30.18 | > | 775/ 1000 | 975 |
| 31.25 | 30.36 | 30.18 | > | 975 | 950 |
| 31.75 | 30.36 | 30.18 | > | 950 | 925 |
| 31.50 | 30.36 | 30.18 | > | 925 | 900 |
| 31.75 | 30.45 | 30.36 | > | 900 | 875 |
| 31.75 | 30.45 | 30.36 | > | 875 | 850 |
| 31.75 | 30.55 | 30.36 | > | 850 | 825 |
| 31.75 | 30.55 | 30.36 | > | 825 | 800 |
| 31.00 | 30.55 | 30.36 | > | 800 | 775 |
| 31.50 | 30.55 | 30.55 | > | 775/ 1000 | 1025 |
| 31.50 | 30.64 | 30.55 | > | 1025 | 1000 |
| 31.50 | 30.74 | 30.55 | > | 1000 | 975 |
| 31.50 | 30.64 | 30.55 | > | 975 | 950 |
| 31.50 | 30.74 | 30.55 | > | 950 | 925 |
| 31.50 | 30.74 | 30.74 | > | 925 | 950 |
| 31.50 | 30.74 | 30.74 | <= | 950 | 975 |
| 31.50 | 30.74 | 30.74 | <= | 975 | 1000 |
| 31.50 | 30.83 | 30.74 | > | 1000 | 975 |
| 31.50 | 30.83 | 30.74 | > | 975 | 950 |

| | | | | | |
|-------|-------|-------|----|------|------|
| 31.75 | 30.83 | 30.83 | <= | 950 | 975 |
| 31.75 | 30.92 | 30.83 | > | 975 | 950 |
| 31.50 | 30.92 | 30.83 | > | 950 | 925 |
| 31.50 | 30.92 | 30.83 | > | 925 | 900 |
| 31.75 | 31.01 | 30.83 | > | 900 | 875 |
| 31.50 | 31.01 | 31.01 | <= | 875 | 900 |
| 31.75 | 30.92 | 31.01 | < | 900 | 925 |
| 31.75 | 30.92 | 31.01 | < | 925 | 950 |
| 32.00 | 30.92 | 31.01 | < | 950 | 975 |
| 31.75 | 30.83 | 31.01 | < | 975 | 1000 |
| 31.75 | 30.83 | 30.83 | <= | 1000 | 1025 |
| 31.75 | 30.92 | 30.83 | > | 1025 | 1000 |
| 31.50 | 30.83 | 30.83 | <= | 1000 | 1025 |
| 31.75 | 30.74 | 30.83 | < | 1025 | 1050 |
| 31.75 | 30.83 | 30.83 | <= | 1050 | 1075 |
| 31.75 | 30.74 | 30.83 | < | 1075 | 1100 |
| 31.75 | 30.74 | 30.83 | < | 1100 | 1125 |
| 32.00 | 30.83 | 30.83 | <= | 1125 | 1150 |
| 31.50 | 30.83 | 30.83 | <= | 1150 | 1175 |
| 31.75 | 30.74 | 30.83 | < | 1175 | 1200 |
| 31.50 | 30.92 | 30.74 | < | 1200 | 1175 |
| 31.50 | 30.83 | 30.74 | < | 1175 | 1150 |
| 31.25 | 30.92 | 30.74 | > | 1150 | 1125 |
| 32.00 | 31.01 | 30.74 | > | 1125 | 1100 |
| 32.00 | 31.01 | 30.74 | > | 1100 | 1075 |
| 31.75 | 31.01 | 31.01 | <= | 1075 | 1100 |
| 32.00 | 31.01 | 31.01 | <= | 1100 | 1125 |
| 32.50 | 31.11 | 31.01 | > | 1125 | 1100 |
| 32.00 | 31.11 | 31.01 | > | 1100 | 1075 |
| 32.00 | 31.20 | 31.01 | > | 1075 | 1050 |
| 32.00 | 31.20 | 31.20 | <= | 1050 | 1075 |
| 31.75 | 31.20 | 31.20 | <= | 1075 | 1100 |
| 32.25 | 31.30 | 31.20 | > | 1100 | 1075 |
| 32.00 | 31.20 | 31.20 | <= | 1075 | 1100 |
| 31.75 | 31.39 | 31.20 | > | 1100 | 1075 |
| 32.00 | 31.30 | 31.39 | < | 1075 | 1100 |
| 32.00 | 31.39 | 31.39 | <= | 1100 | 1125 |
| 32.25 | 31.39 | 31.39 | <= | 1125 | 1150 |
| 32.00 | 31.49 | 31.39 | < | 1150 | |

Tabela 2 - Resultados entre temperaturas (S.NTC), (TempAnt) e tempo alimentação
Fonte: O Autor.