



Inês Pereira Soares

**Análise Energética a uma Instalação Produtiva de
Cerâmica de Revestimento**



Inês Pereira Soares

**Análise Energética a uma Instalação Produtiva de
Cerâmica de Revestimento**

O Relatório de Estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Sistemas Energéticos Sustentáveis, realizado sob a orientação científica do Doutor Joaquim Borges Gouveia do Departamento de Economia, Gestão e Engenharia Industrial e do Doutor Fernando José Neto da Silva do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro.

O júri

Presidente

Prof. Doutora Myriam Alexandra dos Santos Batalha Dias Nunes Lopes
Professora Auxiliar, Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Arguente

Prof. Doutor José Paulo Oliveira Santos
Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Orientador

Prof. Doutor Fernando José Neto da Silva
Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Quero agradecer ao Prof. Borges Gouveia, ao Prof. Fernando Neto, ao Prof. Miguel Oliveira da Universidade de Aveiro e ao Responsável pela Manutenção da Primus Vitória Ricardo Inácio, por todo o acompanhamento prestado para a concretização deste relatório de estágio.

Quero ainda agradecer aos meus amigos Lea Lima, Irene Teixeira, Emanuel Delgado, Tiago Couchinho e André Santiago pelo apoio e companheirismo prestados ao longo destes meses de trabalho.

Palavras-Chave

Indústria cerâmica, eficiência energética

Resumo

O presente trabalho deriva do Projeto GALP 20–20-20 implementado na empresa Primus Vitória, em parceria com a Universidade de Aveiro.

A empresa na qual foi efetuado o estágio produz azulejos para revestimento, estando situada na Zona Industrial de Taboeira.

Este relatório expõe a caracterização energética da Primus Vitória, onde são apresentados consumos de energia elétrica e gás natural nos diversos sectores produtivos, relação entre consumos energéticos globais e a produção de azulejos e ainda os indicadores energéticos da mesma.

Através deste estudo foi possível a criação de medidas de eficiência energética passíveis de implementação, aplicadas a equipamentos consumidores de energia elétrica, através da substituição do motor elétrico existente no setor da aspiração, e de gás natural, otimizando o funcionamento da plastificadora para sequencial, com o devido impacto no consumo final de energia.

Como trabalho futuro propõe-se o desenvolvimento de um plano de monitorização de consumos energéticos com o intuito de obter um controle rigoroso dos mesmos reduzindo possíveis perdas e identificando possíveis defeitos no processo produtivo.

Keywords

Ceramic industry, energy efficiency

Abstract

This paper is a result of an internship made in Primus Vitória, in order to fulfill the Project GALP 20–20–20 in partnership with Universidade de Aveiro.

The company in study is in ceramic industry, making tiles for walls covering, and it is located in industrial zone of Taboeira.

It is present an energetic characterization, where is showed the consumption of electric energy and natural gas on the different sectors, the connection of the energy consumption and tiles production, as well as energy indicators of the installations.

With this paper was possible to provide measures of energy efficiency that could be put into practice on the equipment consumers of electric energy, by replacing the electric motor of suction sector, and natural gas, by optimizing the operation of plastification to sequential, decreasing the energy consumption.

For a long term it is interesting to develop a monitorization plan for the energy consumptions in order to assertively control how the production line is working and adjust if it is possible decreasing the exceeding energy consumption.

Índice

Lista de Figuras	II
Lista de Tabelas	IV
1. Introdução.....	1
2. Indústria Cerâmica.....	3
3. Primus Vitória Azulejos S.A.	7
3.1 Caracterização da empresa.....	7
3.2 Produto	8
3.3 Processo	11
4. Caracterização Energética.....	23
4.1 Consumo Energético.....	23
4.2 Indicadores Energéticos	28
4.3 Diagrama de blocos	30
5. Medidas de Eficiência Energética	33
5.1 Energia Elétrica.....	33
5.2 Gás Natural	37
6. Conclusão.....	43
7. Referências Bibliográficas.....	45
8. Anexos.....	47
Anexo A – Estimativa dos consumos de energia elétrica	47
Anexo B – Tabela de Eficiências Energéticas para motores elétricos [19].....	51
Anexo C – Orçamento para motor elétrico IE3 de 55 kW	52
Anexo D – Consumos horários [Nm ³].....	53

Lista de Figuras

Figura 1 - Composição da indústria cerâmica nacional [2]	3
Figura 2 - Produção de cerâmica em Portugal, 2010 [3]	4
Figura 3 - Distribuição percentual da indústria cerâmica por localização geográfica, em 2009 [2].....	5
Figura 4 - Percentagem de consumo energético [6].....	5
Figura 5 – Unidade industrial da Primus Vitória na Zona Industrial da Taboeira	7
Figura 6 - Percentagem de vendas por aplicação	8
Figura 7 - Percentagem de vendas por tamanhos	8
Figura 8 - Percentagens de vendas por cores	9
Figura 9 - Tonalidades existentes nas diferentes categorias.....	9
Figura 10 – Embalamento [9].....	10
Figura 11 - Fluxograma do processo de produção.....	11
Figura 12 - Prensa Hidráulica	13
Figura 13 - Secador contínuo.....	14
Figura 14 - Diagrama térmico do secador horizontal.....	15
Figura 15 - Limpeza das superfícies dos azulejos.....	15
Figura 16 - Limpeza das arestas dos azulejos	15
Figura 17 - Aplicação da decoração.....	16
Figura 18 - Forno monocanal de rolos	17
Figura 19 - Módulos do forno	17
Figura 20 - Diagrama térmico do forno monocanal	17
Figura 21 - Rolos de tensão.....	19
Figura 22 - Máquina plana	19
Figura 23 - Empilhamento de azulejos.....	20
Figura 24 - Embalamento	20
Figura 25 – Cintagem	21

Figura 26 - Aplicação do saco.....	21
Figura 27 - Plastificação	21
Figura 28 – Cavidade onde é feita a plastificação.....	21
Figura 29 - Queimador Weishaupt WG20	22
Figura 30 - Câmara de combustão.....	22
Figura 31 - Plataforma de elevação com ventoinha de vácuo	22
Figura 32 - Zona de apoios e ventilador.....	22
Figura 33 - Percentagens de consumo de energia referida em tep/ano (a) e percentagens do custo energético (b)	23
Figura 34 - Produção VS Consumo energético	24
Figura 35 - Consumo específico em kgep/ton	24
Figura 36 - Consumo específico em kgep/m ²	25
Figura 37 - Reta de regressão linear entre produção e consumo energético mensal	26
Figura 38 - Processo produtivo	27
Figura 39 - Percentagens (a) consumo específico e intensidade energética e (b) intensidade carbónica	28
Figura 40 - Consumo específico na indústria cerâmica [6].....	29
Figura 41 - Operação unitária	30
Figura 42 - Percentagens de consumo de energia elétrica	34
Figura 43 - Potência instantânea do motor de aspiração	34
Figura 44 - Percentagens de consumos de gás natural	37
Figura 45 - Perfil dos queimadores	39

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Dimensões produzidas na unidade produtiva de Taboeira.....	8
Tabela 2 - Características Técnicas [9].....	10
Tabela 3 - Especificações técnicas [10].....	12
Tabela 4 - Análise granulométrica [10].....	12
Tabela 5- Ciclos de cozedura	18
Tabela 6 - Produção média diária de Paletes	20
Tabela 7 - Consumos e Custos de energia anuais.....	23
Tabela 8 - Indicadores Energéticos.....	29
Tabela 9 - Produção de Paletes.....	38
Tabela 10 - Dados necessários [22].....	40
Tabela 11 - Constantes para cilindros circulares em escoamento cruzado [22]	40
Tabela 12 - Indicadores energéticos atualizados aos novos consumos energéticos	44

1. Introdução

Um dos desafios mais prementes da sociedade contemporânea é a degradação ambiental e o uso excessivo de combustíveis fósseis, o que se traduz num aumento significativo da preocupação com as diversas questões inerentes ao meio ambiente.

A análise energética é de suma importância em qualquer indústria, pois a monitorização dos consumos e a criação de indicadores energéticos proporcionam um controlo rigoroso deste vetor aquando do funcionamento do processo produtivo. Esta monitorização contribui para a redução dos custos energéticos, e consequentemente aumenta a competitividade das empresas.

De modo a alcançar essa vantagem é necessário acima de tudo conhecer tanto o produto como toda a envolvente na fabricação do mesmo, pois só assim se obtém sensibilidade nas áreas a intervir, sem que daí advenham interferências com a qualidade do produto final.

Para proceder a qualquer melhoria identificada, é ainda essencial conhecer os consumos energéticos assim como as características das variáveis inerentes ao funcionamento dos equipamentos, por forma a obter dados para efetuar estudos que poderão traduzir-se na otimização do processo produtivo proporcionando uma eficiência energética superior.

O relatório apresentado tem por base a realização de um estágio efetuado na Primus Vitória Azulejos, sendo o objetivo fundamental deste a formulação de medidas de eficiência energéticas implementáveis *in situ* por forma a reduzir não só o consumo energético da unidade produtiva como também as emissões de gases com efeito de estufa.

O ramo da indústria em que a empresa se encontra classificada é o C.A.E 23 311, a divisão 23 é referente à fabricação de outros produtos minerais não metálicos. O grupo 23 3 engloba o fabrico de produtos cerâmicos para construção, a classe 23 31 inclui a produção de azulejos, ladrilhos, mosaicos e placas de cerâmica, e por fim a subclasse 23 311 refere-se ao fabrico de azulejos [1].

A metodologia utilizada na realização do estágio consistiu na recolha e observação de dados ao nível do produto e do processo produtivo e esclarecimentos prestados pelos funcionários da empresa. Foram ainda analisados os consumos energéticos, através de faturas de energia elétrica e de gás natural, e foram realizadas medições de potências, tensão e corrente, com o auxílio de um analisador de energia. O tratamento dos dados recolhidos permitiu consolidar a informação de consumos da empresa, contribuindo para a caracterização de cada setor produtivo. Partindo do conhecimento obtido, formularam-se medidas de eficiência energética a aplicar, seguindo-se de uma avaliação técnica e económica das mesmas.

O presente relatório inicia-se com uma contextualização tanto a nível do setor industrial em estudo como da premissa sobre a eficiência energética, seguindo-se a caracterização tanto da empresa onde foi efetuado o estágio, como do seu produto e processo produtivo.

Posteriormente é feita uma caracterização energética das instalações produtivas e por fim apresenta-se a análise executada para a implementação de medidas de eficiência energética e devidas conclusões.

2. Indústria Cerâmica

A produção de cerâmica encontrava-se tradicionalmente associada à execução de louça de barro, pese embora o seu espectro se tenha expandido, abrangendo outras técnicas e materiais. O fabrico de objetos cerâmicos pode ser executado em várias pastas e processos de cozedura (variam entre os 700 °C do barro comum aos 1350 °C da porcelana). As técnicas para trabalhar estes materiais consubstanciam três variantes, a saber, o modelado (manual), o moldado (molde) e o construído (colagem). As peças obtidas pelos processos infra descritos podem ser objeto de ornamentação por incisão, por pintura ou por relevo [2].

A cerâmica é um produto caracterizável pela forma e obtido por moldagem a frio de uma matéria inorgânica argilosa, que solidifica por secagem e endurece por cozedura. Tendo em conta a variabilidade das pastas e a aplicação de diferentes métodos de manipulação e cozedura, obtêm-se produtos cerâmicos distintos: terracota, barro cozido; faiança engobada, se o revestimento é terroso; faiança vidrada, se o revestimento é vítreo e transparente; faiança esmaltada, se o revestimento é vítreo e opaco; grés, pasta compacta, dura, podendo ser esmaltada ou revestida de película vítrea obtida por fusão de sal; porcelana, pasta compacta branca, dura e biscuit [2].

Em Portugal, a indústria cerâmica é constituída por diversas atividades distintas encontrando-se as mesmas elencadas na Figura 1.

CAE	ACTIVIDADE
	INDÚSTRIA CERÂMICA
23 2	<i>Fabricação de produtos cerâmicos refractários</i>
23200	Fabricação de produtos cerâmicos refractários
23 3	<i>Fabricação de produtos cerâmicos para a construção</i>
23311	Fabricação de azulejos
23312	Fabricação de ladrilhos, mosaicos e placas de cerâmica
23321	Fabricação de tijolos
23322	Fabricação de telhas
23323	Fabricação de abobadilhas
23324	Fabricação de outros produtos cerâmicos para a construção
23 4	<i>Fabricação de outros produtos de porcelana e cerâmicos não refractários</i>
23411	Olaria de barro
23412	Fabricação de artigos de uso doméstico de faiança, porcelana e grés fino
23413	Fabricação de artigos de ornamentação de faiança, porcelana e grés fino
23414	Actividades de decoração de artigos cerâmicos de uso doméstico e ornamental
23420	Fabricação de artigos cerâmicos para usos sanitários
23430	Fabricação de isoladores e peças isolantes em cerâmica
23440	Fabricação de outros produtos em cerâmica para usos técnicos
23490	Fabricação de outros produtos cerâmicos não refractários

Figura 1 - Composição da indústria cerâmica nacional [2]

O setor da Cerâmica em Portugal, embora não seja o de maior dimensão, possui indicadores que o colocam como um dos de maior e mais significativo desempenho no

contexto da internacionalização. Este é um setor sobremaneira exportador e possui um longo historial de negócios internacionais. De acordo com o Eurostat [3], no ano 2010, a indústria cerâmica representava cerca de 1,3 % do valor da produção da indústria transformadora em Portugal, com cerca de 964 milhões de euros, sendo apresentada a sua distribuição na Figura 2.

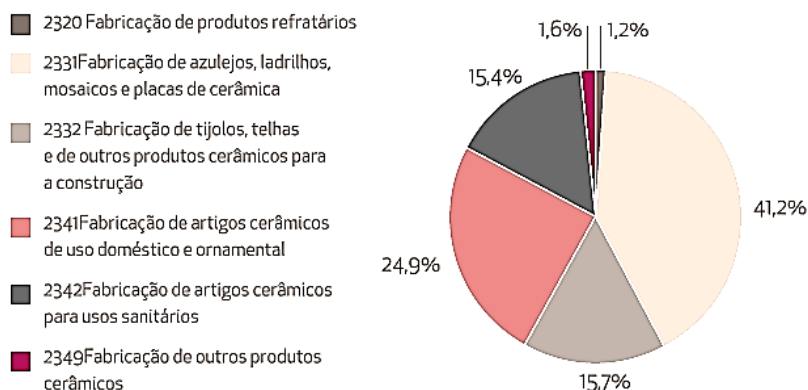


Figura 2 - Produção de cerâmica em Portugal, 2010 [3]

No contexto da União Europeia, e de acordo com os dados do Eurostat [4], em 2011 Portugal foi o 5.º maior produtor, a seguir à Itália, Espanha, Polónia e Alemanha, com cerca de 50 milhões de m² produzidos.

Dado que o presente relatório versa sobre revestimentos cerâmicos é de salientar que, tendo como referência o ano de 2011 [4], Portugal foi o 5.º exportador mundial de pavimentos e revestimentos não vidrados ou esmaltados, a seguir à China, Itália, Alemanha e Espanha, com uma quota de 1,8 % do valor das respetivas exportações totais mundiais, e obteve a 7.ª posição no ranking das exportações mundiais, com uma quota de 2,4 %, para pavimentos e revestimentos vidrados ou esmaltados.

Em Portugal no que concerne à distribuição geográfica das empresas de Indústria Cerâmica (utilizando como referência a divisão territorial apresentada na Figura 3, preconizada pela Nomenclatura Comum das Unidades Territoriais Estatísticas (NUTS) de acordo com o Regulamento (CE) n.º 1059/2003 do Parlamento Europeu e do Conselho de 26 de Maio de 2003), facilmente se conclui que esta é uma atividade fortemente implementada na região centro, espaço que agrega cerca de 45 % das empresas e na região norte do país, área onde operam cerca de 25 % das empresas da Indústria Cerâmica [2].



Figura 3 - Distribuição percentual da indústria cerâmica por localização geográfica, em 2009 [2]

Tratando-se de um mercado fortemente concorrencial e de dimensão global, é fundamental que todos os vetores de produção sejam otimizados para que se criem vantagens competitivas. Assim sendo, considerando a importância atual que a eficiência energética assume em cada região, em cada setor de atividade e em cada empresa, é premente a redução da intensidade energética e carbónica das atividades empresariais, bem como a melhoria da sustentabilidade e da competitividade do tecido empresarial [5].

No ano de 2010, as empresas inseridas na indústria cerâmica consumiram cerca de 433.628 tep, encontrando-se a estratificação do consumo na Figura 4 [6].

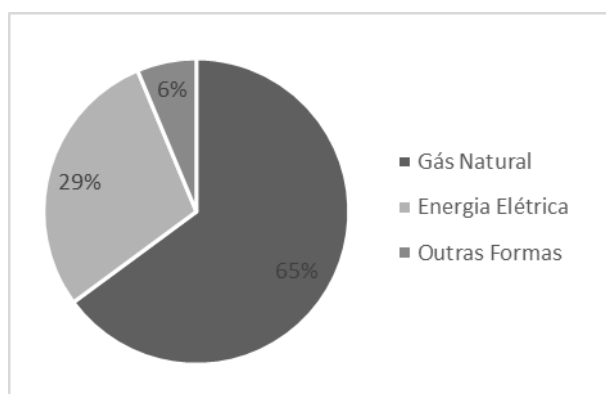


Figura 4 - Percentagem de consumo energético [6]

Com o intuito de prestar orientações às empresas, foram criadas políticas públicas na área de energia, enquadradas no âmbito das desenvolvidas pela União Europeia de que

são exemplo desta linha de ação o *Roadmap 2050* que define uma estratégia para alcançar um setor energético seguro, competitivo e hipocarbónico, sem que o aprovisionamento e a competitividade possam sair prejudicados [5].

Em Portugal, a Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020) tem como horizonte o ano de 2020 e está enquadrada no âmbito da União Europeia, na vertente referente à energia e às alterações climáticas da Estratégia Europa 2020 (EU 2020), onde são definidas metas como a redução em 20 % do consumo energético por aumento da eficiência energética, a redução em 20 % da emissão de gases com efeito de estufa relativamente ao nível atingido em 1990, e ainda o aumento em 20 % do uso de energia proveniente de fontes renováveis no consumo global, pelo que esta se rege segundo os seguintes eixos: [5]

1. Agenda para a competitividade, o crescimento e a independência energética e financeira;
2. Aposta nas energias renováveis;
3. Promoção da eficiência energética;
4. Garantia da segurança de abastecimento;
5. Sustentabilidade da estratégia energética.

No âmbito do presente relatório, o eixo que se elenca como de maior relevo é o 3, referente à promoção da eficiência energética. Considerado como um dos principais objetivos globais da política energética nacional motivo pelo que foi criado um Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE). Este estabelece como meta a alcançar até 2015 a implementação de medidas de eficiência energética equivalentes à redução de 10 % do consumo final de energia, nos termos previstos na Diretiva Nº 2006/32/CE de 5 de Abril, do Parlamento Europeu e do Conselho relativamente à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos, contendo quatro áreas específicas de abrangência: transportes, residencial e serviços, estado e indústria [5].

Com a alteração de comportamento dos agentes económicos o PNAEE pretende garantir uma redução do consumo de energia final em cerca de 1.792.000 tep até 2015 e 20 % até 2020, sendo que se estima que a indústria contribuirá até 2015 com 30 % (cerca de 563.000 tep) para o cumprimento do objetivo definido. Para isso propõem-se essencialmente dois conjuntos de medidas, a saber medidas transversais, que proporcionam efeitos no que se prende com atuação na iluminação, na produção de calor e frio, em sistemas acionados por motores elétricos e eficiência do processo industrial, e medidas específicas de cada setor da indústria, cujas ações não são passíveis de transpor para outros setores [5].

3. Primus Vitória Azulejos S.A.

3.1 Caracterização da empresa

Esta empresa foi fundada em 1968, sendo uma das mais antigas indústrias de azulejaria tradicional portuguesa.

O parque fabril da Primus Vitória compõe-se de dois polos industriais em Aveiro, situados em Aradas e na Zona Industrial da Taboeira (Figura 5). Estes dispõem de tecnologia moderna aplicada na produção de revestimento cerâmico, permitindo um controle rigoroso e frequente da qualidade do produto nas diferentes etapas do processo produtivo, bem como, uma excelente capacidade de reação a qualquer não conformidade. É ainda de realçar que a maior parte dos produtos Primus Vitória, possuem a marca “Produto certificado”, certificado este obtido através da auditoria conjunta realizada pela APCER/CERTIF [7].

O ambiente, a qualidade, a eficiência e a modernidade têm sido fatores determinantes de mudança e atualização de forma a satisfazer os seus clientes. Dando continuidade à produção do azulejo tradicional, a Primus Vitória, reconhecida como uma das mais importantes unidades de produção industrial de azulejo tradicional português, tem uma vasta paleta de cores e séries contemporâneas, acompanhando a arquitetura atual, procurando ir ao encontro das expectativas de um mercado cada vez mais heterogéneo e exigente [8].

A Primus Vitória produz anualmente 5 milhões de m², sendo 60 % dessa produção destinada à exportação para países como Holanda, Rússia, Inglaterra, Angola, França, Bélgica, Irlanda, Canadá, Suécia, Finlândia, Noruega, Alemanha, Espanha, Emirados Árabes Unidos, entre outros [8].

A Primus Vitória reúne entre os seus clientes, um alargado número de obras de referência tais como a nova Sede da Polícia Judiciária em Lisboa, o novo Hospital de Braga, o Hotel da Herdade de Torre de Palma em Portalegre, o Complexo Hoteleiro/Desportivo na Holanda e o Centro Comercial de Toledo em Espanha, que contam com a qualidade dos seus produtos.

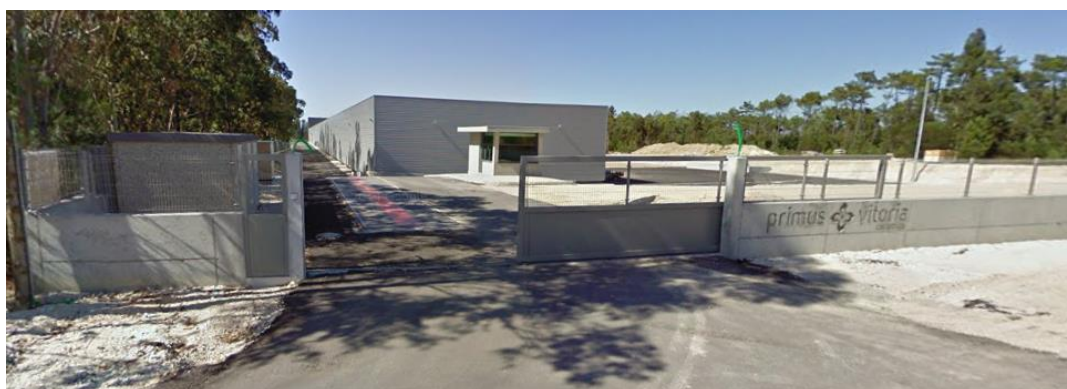


Figura 5 – Unidade industrial da Primus Vitória na Zona Industrial da Taboeira

3.2 Produto

A empresa Primus Vitória apresenta uma gama diversa de azulejos com aplicações quer a nível de revestimento quer de pavimento. No entanto, a unidade produtiva em estudo, sita na Zona Industrial da Taboeira, foi concebida com o objetivo de produzir em grande escala azulejos cerâmicos em pasta branca com o pressuposto de serem aplicados como revestimento.

Nesta unidade são produzidos apenas azulejos cerâmicos com as seguintes áreas: 15X15, 20X20 e 20X30 cm². A produção das unidades referidas justifica-se por vetores de mercado, mormente para satisfação da procura que se verifica, conseqüentemente com percentagens superiores de vendas apresentadas nas Figura 6 e 7 de todos os outros produtos produzidos pela Primus Vitória, sobressaindo por conseguinte os produtos da unidade produtiva em estudo no universo produtivo da empresa ora em análise.

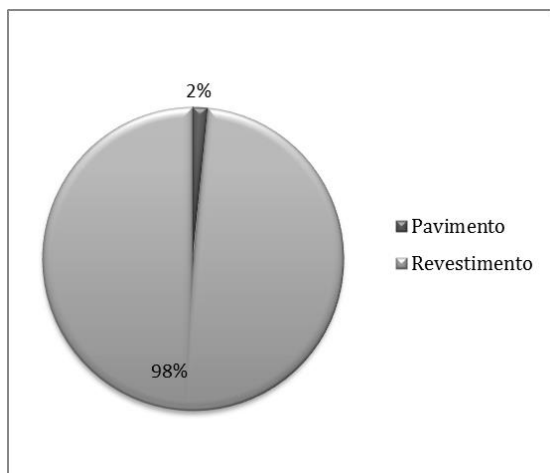


Figura 6 - Percentagem de vendas por aplicação

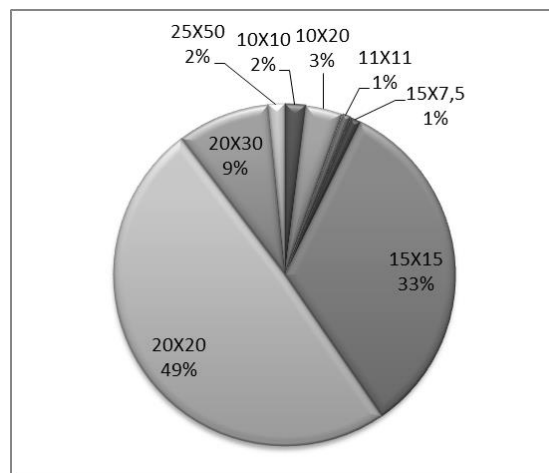


Figura 7 - Percentagem de vendas por tamanhos

Os formatos produzidos podem ainda ser vidrados do tipo liso ou ondulado e com acabamento brilho ou mate. Na Tabela 1 apresenta-se as diferentes espessuras consoante os formatos fabricados.

Tabela 1 - Dimensões produzidas na unidade produtiva de Taboeira

Área [cm ²]	Espessura [mm]	
	Liso	Ondulado
15X15	5,5 e 7,7	5,5
20X20	6,0 e 6,8	6
20X30	7,3	7,3

Como nesta unidade produtiva se fabricam azulejos cerâmicos sem serigrafia, ou seja, sem qualquer tipo de ilustração, as cores produzidas encontram-se divididas por categorias. Nas Figura 8 e 9 apresentam-se as percentagens de vendas e a respetiva paleta de cores pertencentes a cada categoria.

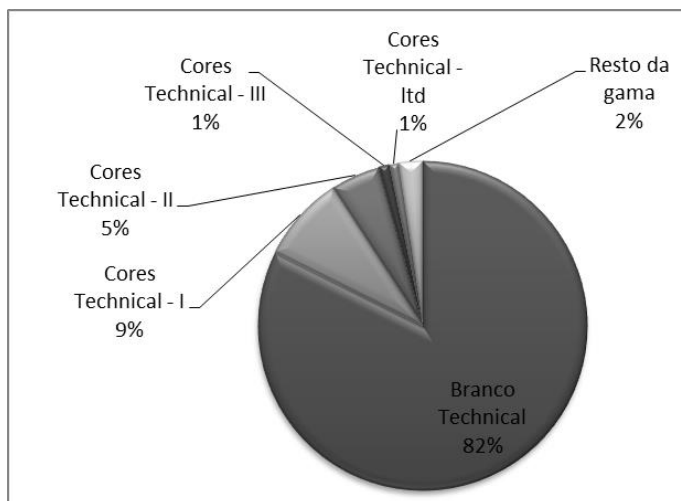


Figura 8 - Percentagens de vendas por cores

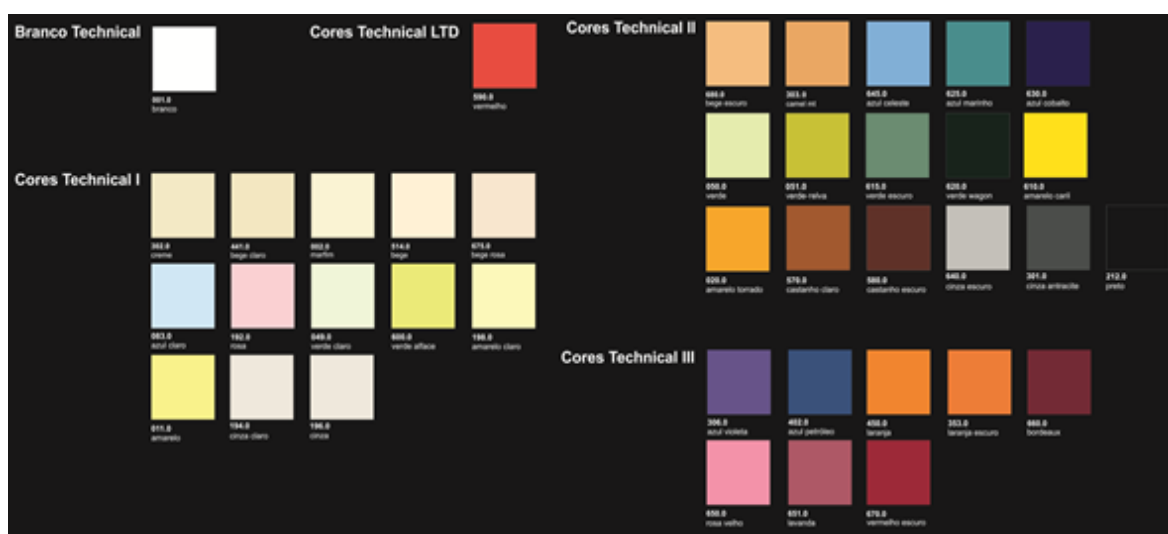


Figura 9 - Tonalidades existentes nas diferentes categorias

As características técnicas finais de cada azulejo, independentemente do seu formato, encontram-se apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Características Técnicas [9]

Características Técnicas	Especificação Primus Vitória
Absorção de Água	14 – 20 %
Módulo de Rutura	15 N/mm ²
Resistência à Flexão	Espessura < 7,5 mm → 200 N Espessura ≥ 7,5 mm → 600 N
Resistente	Rutura Baixas concentrações de ácidos/bases Produtos de limpeza e aditivos para piscinas Manchas

A Primus Vitória comercializa apenas produtos de 1ª Escolha e ECO. Como o próprio nome indica, os produtos de 1ª Escolha são aqueles que não apresentam qualquer tipo de defeito, já os ECO, abreviatura de económico, apresentam defeitos mínimos como pequenos cantos nicados, pouco prensados ou covas.

As características técnicas de embalagem encontram-se representadas na Figura 10, onde se apresenta quantidades de material por caixa, palete e contentor.

formato (mm) size (mm) dimension (mm) Формат (mm) حجم	espesura (mm) thickness (mm) épaisseur (mm) Толщина (mm) السماكة	m ²			kg			paquete container 20' pallet container 20' palette conteneur 20' Палет/контейнер مجموعة للشاحنة الواحدة	paquete container 40' pallet container 40' palette conteneur 40' Палет/контейнер مجموعة للشاحنة الواحدة	paquete camião pallet truck palette camion палет/машина مجموعة للشاحنة الواحدة
		peças cx pieces box pièces boîte колич. шт./коробка قطعة في العلبة	m ² cx sqm box m ² boîte m ² /коробка م ² في العلبة	peso cx weight box poids boîte вес/коробка الوزن في العلبة	cx pal. box pal. boîte pal. коробки/палет مجموعة	m ² pal. sqm pal. m ² pal. m ² /палет في المجموعة	peso pal. weight pal. poids pal. Вес/палет الوزن في المجموعة			
150 x 150	5,50	44	1,00	9,10	115	115,00	1075	22	24	23
150 x 150	5,50	66	1,50	13,65	80	120,00	1120	22	24	22
150 x 150	7,70	30	0,68	8,55	115	78,41	1110	22	24	24
150 x 150	7,70	46	1,05	13,11	80	83,64	1075	22	24	23
200 x 200	6,80	25	1,00	11,50	96	98,00	1130	22	23	22
200 x 200	6,80	40	1,60	18,40	64	102,40	1205	22	22	20
200 x 200	6,00	45	1,80	18,40	64	115,20	1205	22	22	20
200 x 300	7,30	16	1,00	11,80	88	88,00	1065	22	24	23

nota: peso palete = 25 kg note: weight = 25 kg pallet note: palette = 25 kg Примечание: паллет весом 25 кг ملحوظة: وزن طلبة = 25 كغ

Figura 10 – Embalamento [9]

3.3 Processo

A Figura 11 apresenta o fluxograma do processo produtivo da instalação em estudo, seguindo-se uma descrição dos estágios intervenientes na produção dos azulejos.

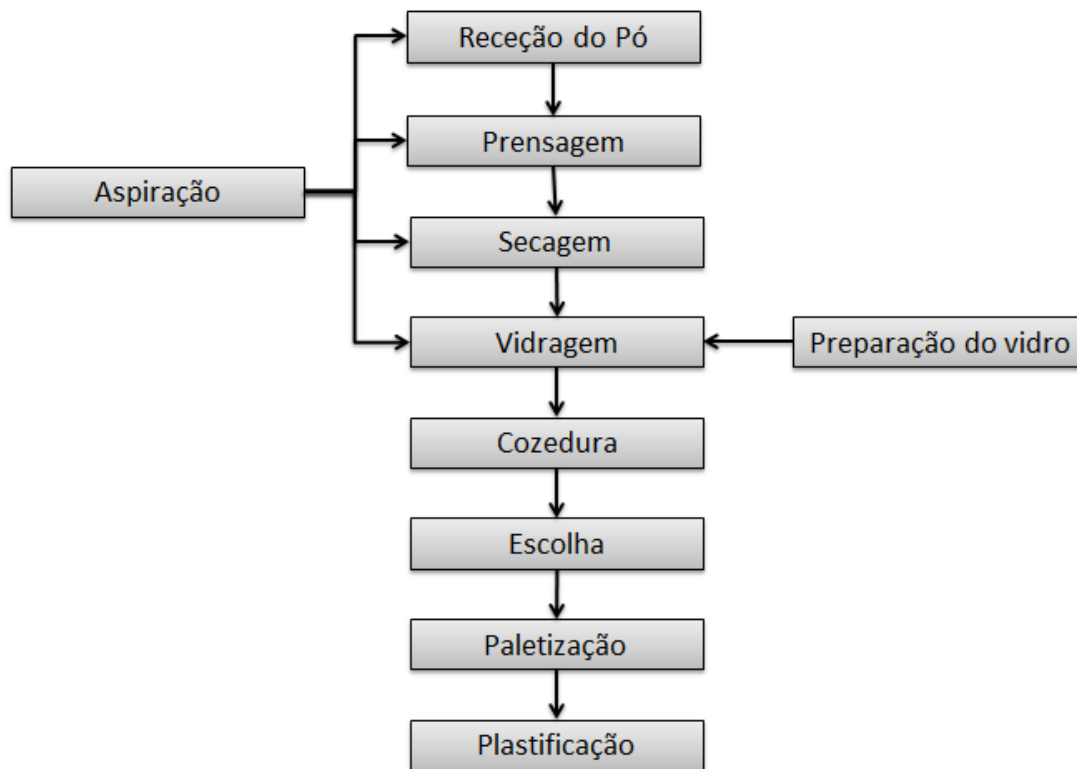


Figura 11 - Fluxograma do processo de produção

3.3.1 Aspiração

A preservação do sistema respiratório no Homem encontra-se fortemente ligada ao meio ambiente do local de trabalho. A poluição do ar nos ambientes de trabalho contribui para o aparecimento de doenças do trato respiratório dos trabalhadores ou para agravamento de outras doenças pré-existentes nos mesmos. Assim sendo, é necessária a presença de um sistema de aspiração para remover as pequenas partículas de pó que se encontram difundidas no ar, causadoras de doenças respiratórias aos operários.

O sistema de aspiração existente subdivide-se em dois ramos distintos, a saber, um que processa a aspiração ao longo da linha produtiva até ao final da vidragem, e outra que é acionada apenas quando existe a receção do pó para abastecimento dos silos.

3.3.2 Receção da matéria-prima

A matéria-prima utilizada consiste num pó atomizado para revestimento que se encontra praticamente pronto para ser operado. As suas características são apresentadas nas Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 3 - Especificações técnicas [10]

Características	Especificações
<i>Humidade</i>	5,5 – 6,3 %
<i>Resíduo ao Peneiro 63 μm</i>	2,75 – 3,75 %
<i>Resistência Mecânica</i>	Seco > 45 kg/cm ² Cozido > 200 kg/cm ²
<i>Contração</i>	Seco – Cozido: 0,10 – 0,40
<i>Absorção de Água</i>	15,0 – 18,0 %
<i>Perda ao Fogo</i>	8,0 – 11,0 %
<i>Coefficiente de Dilatação</i>	192 – 205 x 10 ⁻⁷ °C ⁻¹

Tabela 4 - Análise granulométrica [10]

Malha	Quantidade
[μm]	[%]
600	5 – 12
500	5 – 15
300	35 – 50
250	8 – 16
180	10 – 18
125	4 – 12
Base	2 – 7

O abastecimento do pó implica uma sucessão de procedimentos até ser utilizado na fabricação de azulejos. Inicialmente este é descarregado e direcionado para peneiras, onde é feita a seleção do material excluindo aglomerados de pó, e encaminhado o mesmo para silos onde se procede ao seu armazenamento. Quando este é necessário para abastecimento da prensa, passa ainda por um equipamento com um circuito magnético instalado, por forma a retirar qualquer resíduo metálico evitando-se qualquer dano ao alimentar a prensa.

3.3.3 Prensagem

Nesta fase utiliza-se uma prensa hidráulica PH 3020 da SACMI (Figura 12), com o fito de conceder às peças forma e parte das características mecânicas e superficiais.

A prensa referida supra foi concebida com o propósito de gerar vantagem competitiva em indústrias cerâmicas de revestimento com elevada produtividade. Esta prensa torna possível a combinação de uma considerável largura de carga com velocidades de ciclo elevadas, ou seja, o número de cavidades no molde pode ser aumentada sem ter que

abrandar as elevadas taxas de trabalho típico de prensas de menores dimensões [11]. Assim sendo, a aplicação de uma força de 270 kg/cm^2 traduz-se em 24 peças por prensagem para a dimensão de 15X15, 16 peças por prensagem para a dimensão de 20X20 e 12 peças por prensagem para a dimensão 20X30.



Figura 12 - Prensa Hidráulica

A prensa hidráulica instalada promove a eficiência energética durante o processo de prensagem onde é possível o aproveitamento de energia através da utilização de uma bomba de caudal variável e ainda um multiplicador de caudal/pressão, onde tanto a alimentação como a ejeção do material em excesso são feitos por equipamentos distintos. Estas medidas ajudam a diminuir o desgaste, levando a uma maior durabilidade e confiabilidade dos componentes, necessitando de uma manutenção reduzida [12].

Este equipamento dispõe ainda de um *display* que faz o interface com o operador e que possibilita a definição de todos os parâmetros do formato do azulejo, controlando em tempo real e monitorizando as dimensões físicas deste, nomeadamente a posição e velocidades das partes móveis, a pressão no circuito óleo-hidráulico e espessura dos azulejos [12].

3.3.4 Secagem

O secador tem como função retirar, quase na totalidade, a humidade contida nas peças (exigência $< 1 \%$). Esta ação é indispensável para que estas adquiram as remanescentes

características mecânicas possibilitando o seu transporte e restante processamento sem defeitos.

O equipamento utilizado é um secador horizontal contínuo SF27Z001A da SACMI (Figura 13), onde um fluxo contínuo de azulejos é transportado por rolos com eixos paralelos e co-planares (5 planos de rolos).

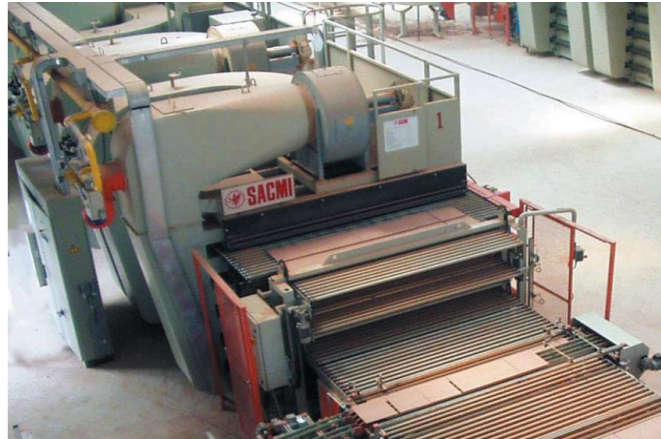


Figura 13 - Secador contínuo

Os azulejos atravessam as câmaras de secagem munidas de tubos que dirigem os jatos de ar quente perpendicularmente à superfície dos mesmos, para facilitar a transmissão térmica concretizando assim a remoção de humidade. Uma pequena parte deste débito é expulsa através de uma chaminé, com a finalidade de manter o ambiente de trabalho em condições higrométricas favoráveis ao processo. O restante caudal, como exemplificado na Figura 14, é recirculado (seta a laranja) num permutador de calor e posteriormente adicionado ao ar proveniente do ambiente (seta azul).

Em secadores de múltiplos planos, o ar é insuflado dentro e fora de cada plano, acima e abaixo dos azulejos, proporcionando vantagens significativas em termos de temperaturas consistentes, havendo apenas uma diferença de 5 °C nos azulejos em diferentes partes do secador [13].

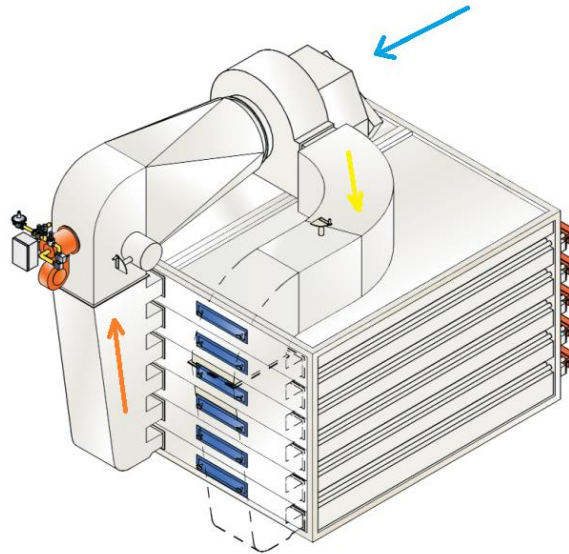


Figura 14 - Diagrama térmico do secador horizontal

Tal como a prensa, este equipamento também possui um display associado, que permite ao trabalhador monitorizar e ajustar a temperatura, os tempos de ciclo, identificar lacunas no fluxo de produção, e ainda sincronizar a velocidade de transporte com o número de ciclos da prensa [13].

3.3.5 Decoração

As peças ao saírem do secador passam por diversos estágios de limpeza, quer ao nível das superfícies como das arestas, conforme exemplos nas Figura 15 e 16, que têm como função retirar os excessos de material residual.



Figura 15 - Limpeza das superfícies dos azulejos



Figura 16 - Limpeza das arestas dos azulejos

Após se encontrarem livres de impurezas, os azulejos são pulverizados com água, por forma a eliminar os poros, evitando a formação de bolhas e preparando assim a peça para receber a decoração (Figura 17).



Figura 17 - Aplicação da decoração

Conforme se referiu inicialmente, na unidade industrial em análise a decoração é sem serigrafia. Inicialmente é aplicado engobe na peça e de seguida o vidro. O engobe cerâmico consiste num esmalte entre a peça cerâmica e o vidro da superfície do azulejo, e tem como objetivo proteger a peça impedindo defeitos devido à porosidade da mesma, favorecer uma aplicação adequada do vidro e impossibilitar a formação de curvatura, gretamento e deslocamento da peça. O vidro é igualmente um esmalte cerâmico cujo objetivo é recobrir a superfície exposta do revestimento cerâmico com características técnicas e estéticas que possibilitem a resistência à abrasão, ao risco e ao ataque químico.

Após aplicação dos esmaltes nos azulejos, estes passam novamente por equipamentos de limpeza, de forma a retirar excessos de esmalte cerâmico dos mesmos.

3.3.6 Cozedura

A cozedura é a fase mais importante da produção, pois é a operação na qual os azulejos sofrem alterações físicas e químicas de modo a adquirirem as características finais desejáveis. No caso das alterações físicas dá-se um processo de contração, que se manifesta através de uma aglomeração de partículas que estão em contacto, diminuindo a superfície e a porosidade do azulejo. Quanto às alterações químicas, estas ocorrem ao nível das suas estruturas cristalinas, assim como na microestrutura. Tendo em conta que a pasta cerâmica é previamente fabricada, o processo de cozedura é feito em apenas uma fase, designando-se de monocozedura [14].

O equipamento usado é um forno monocanal de rolos da SACMI (Figura 18). Dado tratar-se de um forno para monocozedura este encontra-se dividido em estágios distintos identificados por diferentes cores como exemplificado na Figura 19, ao longo dos quais os azulejos sofrem um aumento gradual de temperatura de 100 °C a valores por vezes superiores a 1200°C retornando no final do processo à temperatura ambiente.



Figura 18 - Forno monocanal de rolos



Figura 19 - Módulos do forno

O forno encontra-se dividido nas seguintes zonas: pré-forno, pré-aquecimento, cozedura, arrefecimento rápido, arrefecimento lento e arrefecimento final, conforme apresentado na Figura 20.

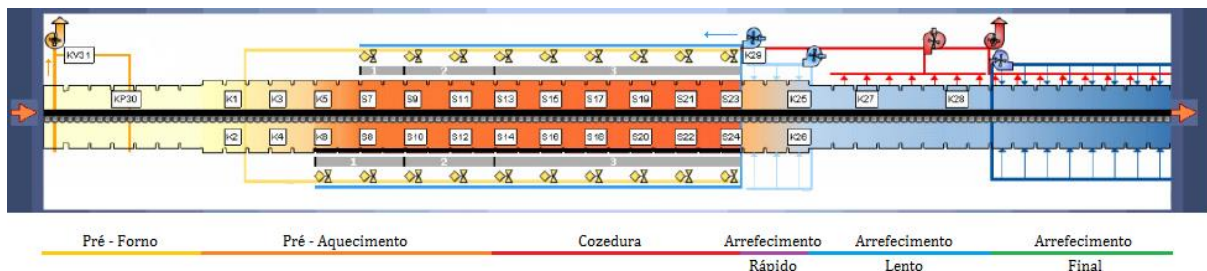


Figura 20 - Diagrama térmico do forno monocanal

O pré-forno é a zona de entrada na qual os azulejos devem perder água higroscópica residual, por forma a cumprir os requisitos de humidade. Este segmento do canal de cozedura não possui queimadores e é aquecido com os gases proveniente da cozedura com temperaturas compreendidas entre 200 e 300 °C, aspirados pelo ventilador através de tomadas situadas acima e abaixo do plano de rolos, no início do pré-forno [15].

Na zona de pré-aquecimento faz-se a remoção dos gases contidos no produto cerâmico para que não sejam produzidas partes inchadas, bolhas, buracos, porosidades do esmalte e modificações de tonalidade. A fase termina quando tem início a fusão e a redução da porosidade superficial do azulejo, o qual perde rapidamente a permeabilidade aos gases. Dependendo das características do azulejo, a temperatura encontra-se entre 500 e 1000 °C [15].

O módulo referente à cozedura é a zona onde são atingidos os valores de temperatura mais elevados, acima dos 1000 °C. Toda a zona está equipada com queimadores acima e abaixo do plano de rolos, pois é onde, quase exclusivamente, muitas das características finais do azulejo (dimensões, planaridade, vitrificação, etc...) são obtidas. Por este motivo, é indispensável um controlo preciso da temperatura e das condições do plano de rolos, considerando que determinados produtos podem, nesta zona, deformar-se até mesmo significativamente [15].

Na zona de arrefecimento rápido o valor de temperatura desce de forma abrupta do nível máximo atingido a cerca de 600 °C. Este decréscimo de temperatura é possível a partir da recirculação do ar proveniente dos estágios a jusante (arrefecimento lento e final). Os azulejos passam por um arrefecimento rápido, atingindo valores de temperatura superiores aos da transformação alotrópica do quartzo (573 °C). O equipamento para o arrefecimento rápido é constituído por tubos que injetam ar no canal de cozedura. Os tubos são orientados de acordo com as necessidades e perfurados para permitir uma difusão homogénea do ar na secção do forno, distribuindo o ar de arrefecimento adequadamente acima e abaixo do plano dos rolos, dentro de determinados limites e para determinados produtos, sendo possível corrigir alguns defeitos de planaridade dos azulejos [15].

No estágio de arrefecimento lento acontece a delicadíssima transformação do quartzo β em α , evento este que comporta uma forte diminuição do volume do produto cerâmico e que deve ser lento e gradual para que não sejam produzidas fortes tensões capazes de romper o produto, encontrando-se instalados ventiladores para a remoção do ar quente do canal [10]. No produto cerâmico as tensões podem facilmente produzir a característica de rutura “vitrificada” que, nos produtos com vitrificação média-alta, faz com que a fratura assuma um aspeto liso, brilhante, concoidal e com bordas cortantes. A temperatura fica compreendida entre 600 e 450 °C [14].

O arrefecimento final é a última parte do processo na qual se subtrai a maior quantidade possível de calor do produto, que já ultrapassou a fase crítica de retransformação do quartzo. A zona é equipada com um sistema de sopro de ar frio diretamente acima e abaixo do material. Empregando volumes de ar pequenos e bem distribuídos é possível recuperar ar à temperatura de 100 e 160 °C, utilizável num secador ou para condicionar o ambiente de armazenagem do produto, ou ainda como ar de combustão [15].

Outros fatores importantes são o tempo e o calor necessário, uma vez que são fabricados azulejos com diferentes formatos, existem curvas de temperaturas adequadas a cada um assim como ciclos de cozedura distintos como apresentado na Tabela 5.

Tabela 5- Ciclos de cozedura

Formatos	Ciclo no forno
15X15	36 min
20X20	36/40 min
20X30	40 min

3.3.7 Escolha

Nesta fase é realizada uma inspeção visual aos azulejos visando suprimir os que apresentem defeitos.

Inicialmente os azulejos passam por um conjunto de rolos (Figura 21) com o objetivo de testar a sua resistência à tensão, de seguida são dirigidos para um dispositivo planar de cabeçotes óticos (Figura 22) cuja função é classificar defeitos de planaridade. Este dispositivo utiliza sensores óticos lineares por forma a medir distâncias sem contacto direto e a estrutura regular do formato, permitindo detetar os mais variados defeitos de forma [16].

Os azulejos que tenham defeitos são marcados com uma tinta fluorescente sendo possível mais à frente na linha de embalamento fazer a seleção entre classes e caco (material defeituoso que não será aproveitado para venda).



Figura 21 - Rolos de tensão



Figura 22 - Máquina plana

3.3.8 Embalamento

Para que o embalamento esteja completo os azulejos passam por dois equipamentos distintos. Inicialmente é feita a seleção dos azulejos nas devidas categorias e posteriormente o empilhamento das placas de acordo com a categoria atribuída na fase anterior (Figura 23). De seguida as pilhas de azulejos são envolvidas por uma folha de papelão aberta (Figura 24) ficando a embalagem pronta para a construção de paletes.



Figura 23 - Empilhamento de azulejos



Figura 24 - Embalamento

No empilhamento de azulejos, estes voltam a ser submetidos a testes dentro das suas categorias (previamente identificadas). Assim após se encontrarem devidamente classificados, são direcionados para a pilha de azulejos da sua categoria, encaminhando as peças que não detenham as características necessárias à venda para um contentor, descartando estas da produção [17].

Quanto ao embalamento, este passa por envolver e colar de forma automatizada a folha de papelão aberta, anteriormente referida, protegendo todo o perímetro da pilha com consequente dobra das abas superiores e inferiores, dirigindo-o para a paletizadora por forma a completar uma paleta [18].

Tendo em conta que a taxa de produção afeta a construção de paletes, apresenta-se na Tabela 6 a capacidade diária de produção de paletes.

Tabela 6 - Produção média diária de Paletes

Formatos	Pal./dia
15X15	67
20X20	81
20X30	73

3.3.9 Plastificação

É a última fase da produção dos azulejos, pois trata-se da impermeabilização de paletes para isolar eficazmente o material produzido, quer durante o transporte quer durante o armazenamento das mesmas por forma a garantir a qualidade dos azulejos.

A plastificação de uma paleta incorpora três estágios distintos de operação:

- A cintagem (Figura 25) que consiste no acondicionamento do material para que este não resvale durante o transporte da paleta evitando quebras;
- A aplicação do saco (Figura 26) onde se efetua o corte e envolvimento da paleta pelo plástico, sendo este que a protegerá de quaisquer agressões climáticas;

- A plastificação (Figura 27) que conforma o plástico à paleta com mobilização de ar quente, evitando folgas ou perfurações no mesmo.



Figura 25 – Cintagem



Figura 26 - Aplicação do saco



Figura 27 - Plastificação

O equipamento utilizado para a plastificação das paletes consiste num forno termorretráctil, totalmente automático, onde a plastificação é feita através de ar quente à temperatura de *setpoint* definida de 250 °C distribuído através de pequenos orifícios que cobrem totalmente a superfície lateral das paredes do forno (Figura 28).



Figura 28 – Cavidade onde é feita a plastificação

A plastificadora opera com dois queimadores compactos (Figura 29) em simultâneo, cujo sistema distribui o fluxo de combustível em vários bocais dispostos concentricamente em torno da cabeça de combustão e atomização. Com o auxílio de uma placa difusora axial ajustável garante-se que o anel de ar (Figura 30) está correto em todos os pontos, consoante a gama de capacidade do queimador [19].



Figura 29 - Queimador Weishaupt WG20

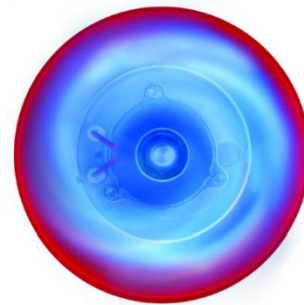


Figura 30 - Câmara de combustão

Esta gestão de combustão digital e a constante regulação da relação ar/combustível faz com que os gases de exaustão tenham emissões baixas, com níveis de NO_x entre 70 e 90 mg/kWh [19].

Para que a plastificação seja corretamente efetuada existe uma plataforma de elevação hidráulica (Figura 31 e 32), referenciada com o número 1, que eleva a paleta por forma a que a aba inferior do saco possa retrair-se abaixo da mesma, e uma ventoinha motorizada de vácuo, número 2, situada abaixo dos rolos para aspirar o ar do saco de modo a aderir à superfície da paleta antes da retração.

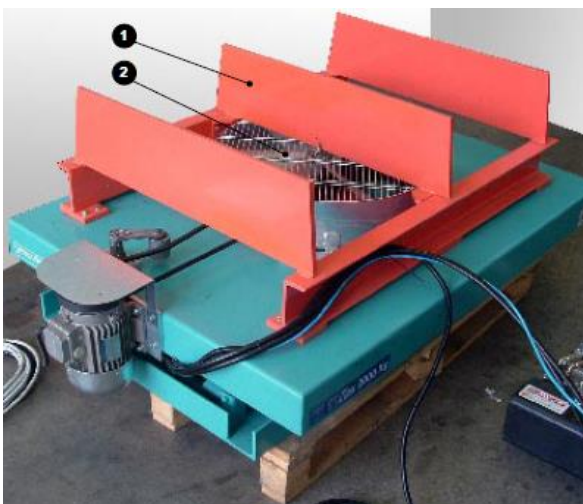


Figura 31 - Plataforma de elevação com ventoinha de vácuo



Figura 32 - Zona de apoios e ventilador

4. Caracterização Energética

4.1 Consumo Energético

A unidade industrial em estudo possui um consumo energético total de 2.088 tep/ano (valores referente ao ano de 2013 e convertidos para toneladas equivalentes de petróleo segundo o Despacho n.º 17313/2008, do Diário da República, 2.ª série — N.º 122 — 26 de Junho de 2008), distribuídos em consumos de energia elétrica e gás natural conforme apresentado na Figura 33 e na Tabela 7, onde é visível que o maior consumo está associado ao gás natural, representando 75% dos consumos energéticos totais.

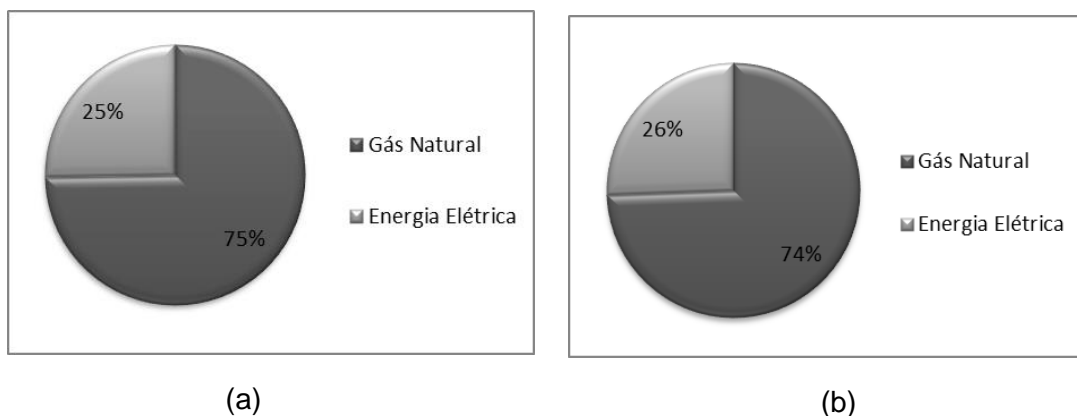


Figura 33 - Percentagens de consumo de energia referida em tep/ano (a) e percentagens do custo energético (b)

Tabela 7 - Consumos e Custos de energia anuais

Tipo	Quant. Anual	Energia [tep]	Custo [€]
<i>Gás Natural</i> [Nm ³]	1.717.708	1.555	927.016
<i>Energia Elétrica</i> [kWh]	2.481.038	533	313.070
<i>Total</i>	-	2.088	1.240.086

Da análise do consumo energético anual, segundo o Sistema de Gestão de Consumidores Intensivos de Energia (SGCIE), a instalação produtiva é considerada como Consumidora Intensiva de Energia (CIE), pois o seu consumo é superior a 1.000 tep/ano.

A unidade industrial foi construída com o objetivo de produzir azulejos em grande escala. A Figura 34 mostra que existem flutuações relevantes ao longo do ano, sendo a quantidade de azulejos produzida bastante variável de mês para mês. A figura representa a relação entre a produção dos azulejos e o consumo energético mensal. Observa-se que as flutuações da produção, que se traduzem conseqüentemente em variações no consumo energético não são lineares e constata-se que com o aumento da quantidade produtiva os consumos de energia específicos diminuem.

As flutuações observadas devem-se ao facto de existirem consumos energéticos independentes da produção de azulejos, como por exemplo os equipamentos que se encontram em *stand-by* e que necessitam de sistemas de ar condicionado a trabalharem permanentemente por forma a não haver sobreaquecimentos, ou a existência de sistemas de alarmes. Pelo que para quantidades produtivas superiores o consumo energético encontra-se diluído na operação de tais equipamentos.

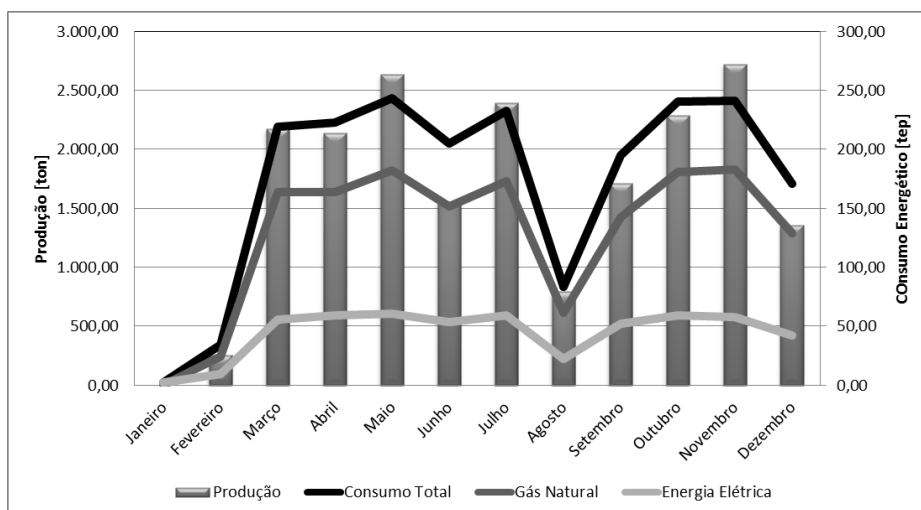


Figura 34 - Produção VS Consumo energético

Dado que a relação entre a produção e o seu consumo energético se trata do consumo específico, as Figura 35 e Figura 36 apresentam esse mesmo indicador tendo como base toneladas e metros quadrados de produto, respetivamente.

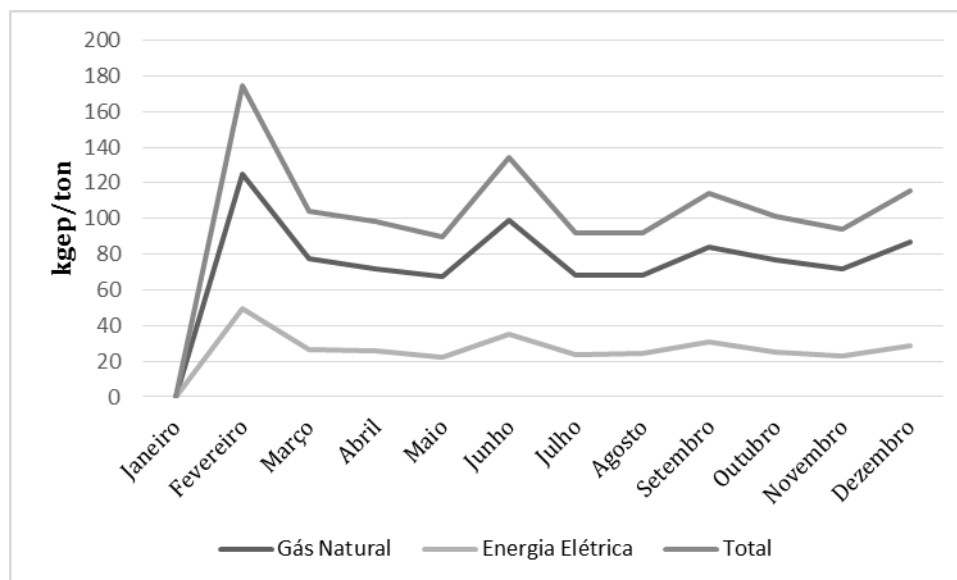


Figura 35 - Consumo específico em kgep/ton

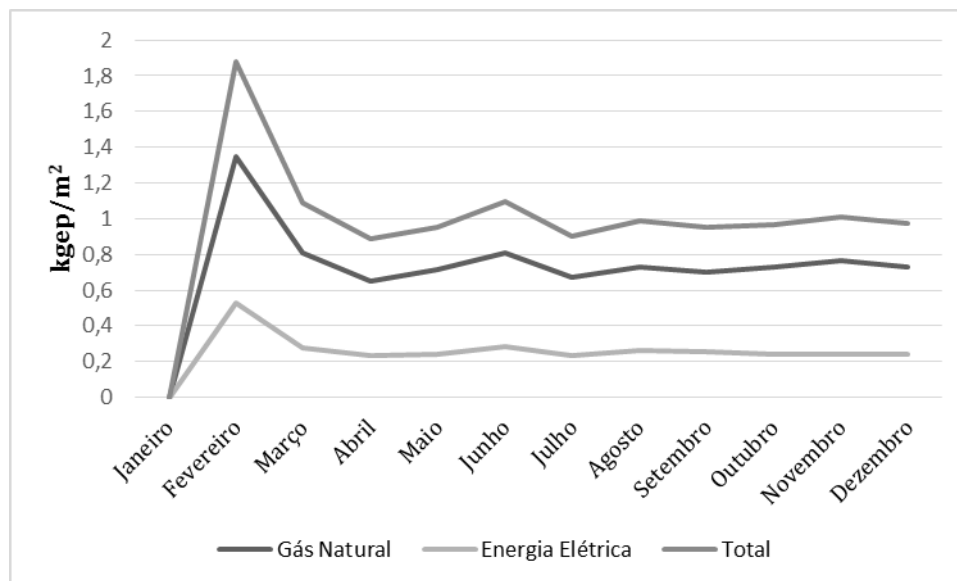


Figura 36 - Consumo específico em kgep/m²

Em ambos os gráficos é visível que o consumo específico máximo atingido foi no mês de Fevereiro, sendo conseqüentemente o mês com uma taxa de produção mais baixa. O mês de Junho aparece igualmente com um consumo específico elevado, no entanto este aumento não se deve à baixa produção mas sim ao facto de se verificar um volume de quebras superior, que faz com que o consumo energético se mantenha apesar de existir uma diminuição da produção útil fazendo aumentar o consumo específico.

É assim desejável uma atividade produtiva constante por forma a evitar flutuações acentuadas no consumo energético inerente à atividade produtiva. É necessário ainda salientar o facto de que a unidade utilizada para definir a produção em metros quadrados não é a mais adequada devido à variabilidade de espessuras e áreas dos azulejos. É importante utilizar a tonelada como unidade de análise uma vez que permite facilitar a análise comparativa dos diversos produtos produzidos.

A relação entre o consumo de energia e a produção de uma empresa pode ser obtida através de uma função linear do tipo: $E = E_0 + c \times P$, onde E representa a energia total consumida, P a produção e E_0 a parcela de energia consumida independente da produção. A incógnita c é o parâmetro mais importante pois trata-se do coeficiente de afetação da energia à produção, ou seja, qualquer redução do valor de c corresponde a uma redução da quantidade de energia necessária para produzir uma determinada quantidade de produto final. O coeficiente de correlação linear da reta (R), quantifica a discrepância entre consumos energéticos estimados pela reta e os valores verificados na prática para cada produção [6].

A Figura 37 apresenta a relação anteriormente referida obtida através do Método dos Mínimos Quadrados, onde se pode concluir que se consome cerca de 22,12 tep de energia por mês desassociada da produção, o que representa cerca de 1,06 % do

consumo energético total. Esta energia é consumida em sistemas de *stand-by* e alarmes como anteriormente mencionada.

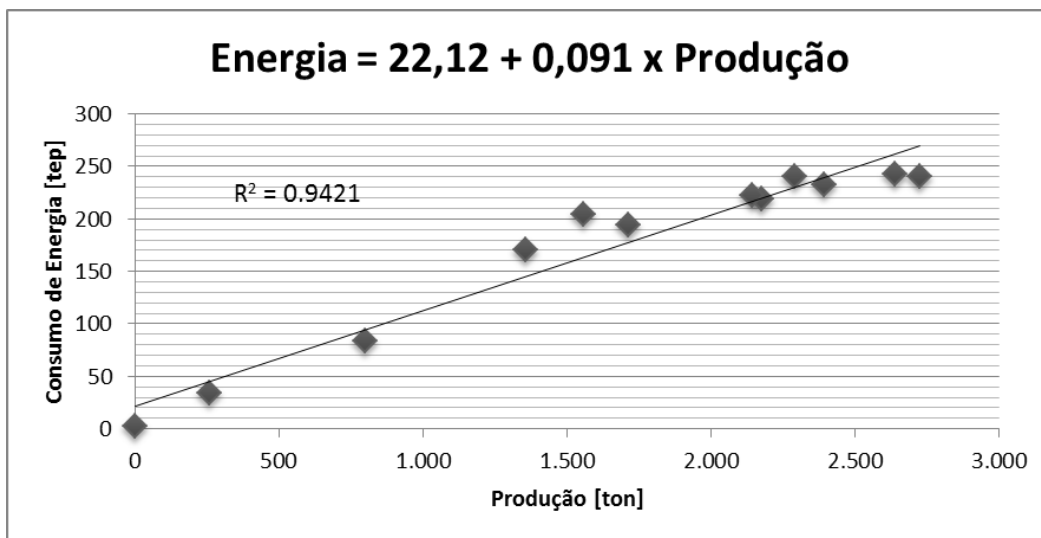


Figura 37 - Reta de regressão linear entre produção e consumo energético mensal

Em suma, apresenta-se na Figura 38 os estágios que constituem o processo produtivo com os consumos energéticos anuais e a percentagem de quebras de produto na execução do mesmo, pelo que no capítulo 5 explica-se a forma de obtenção dos dados exibidos.

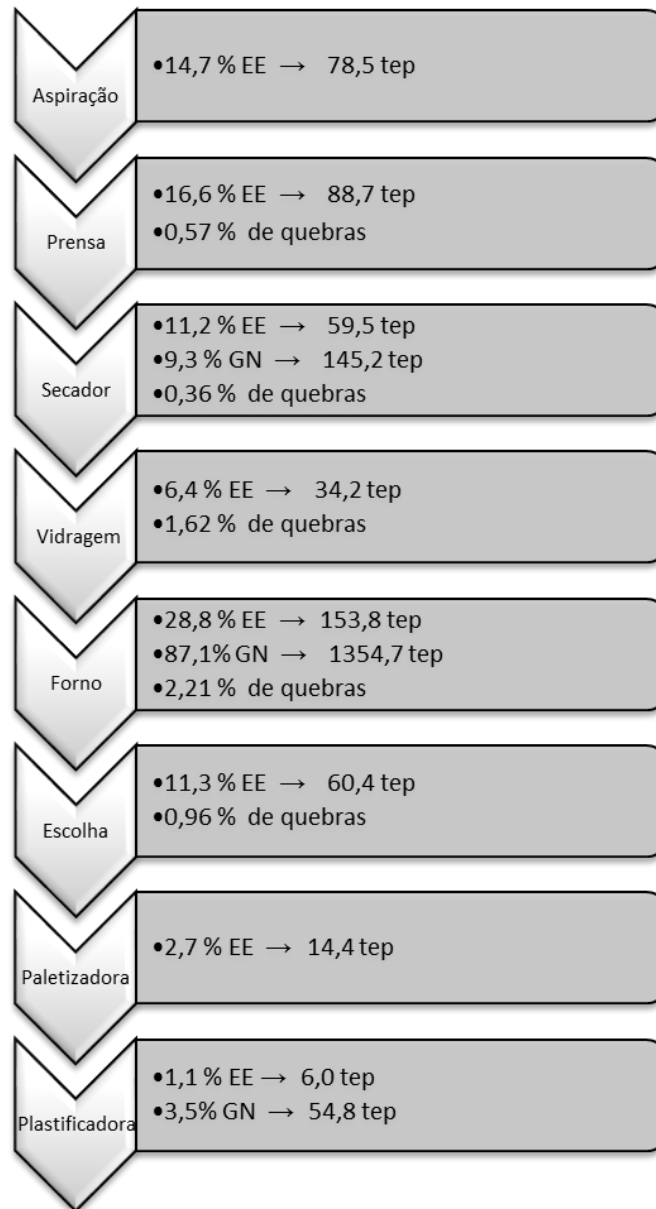


Figura 38 - Processo produtivo

4.2 Indicadores Energéticos

Os indicadores energéticos constituem uma ferramenta de análise das discrepâncias existentes entre a produção e os consumos energéticos associados. A análise destes indicadores permite perceber qual a situação atual da empresa contribuindo para uma tomada de decisão atempada.

Para este estudo utilizar-se-ão os indicadores energéticos requeridos pelo Plano de Racionalização do Consumo de Energia (PREn), que integra o Sistema de Gestão de Consumidores Intensivos de Energia (SGCIE).

➤ A intensidade energética (IE) que consiste no quociente entre o consumo total anual de energia e o valor acrescentado bruto (VAB) das atividades da empresa [20];

➤ O consumo específico de energia (CEE) o qual é calculado como sendo o quociente entre o consumo total anual de energia e o volume de produção anual [20];

➤ A intensidade carbónica (IC) que consiste no quociente da quantidade de emissão anual de Gases de Efeito de Estufa (GEE) em toneladas de dióxido de carbono equivalentes e o consumo total anual de energia [20]. As emissões de dióxido de carbono foram obtidas pela multiplicação do Fator de Emissão [21] convertido para kg CO₂e/tep, tanto do Gás Natural como para a Energia Elétrica, pelo o respetivo consumo anual em tep.

Os indicadores energéticos determinados para o ano de 2013, por vetor energético, encontram-se na Figura 39 e Tabela 8.

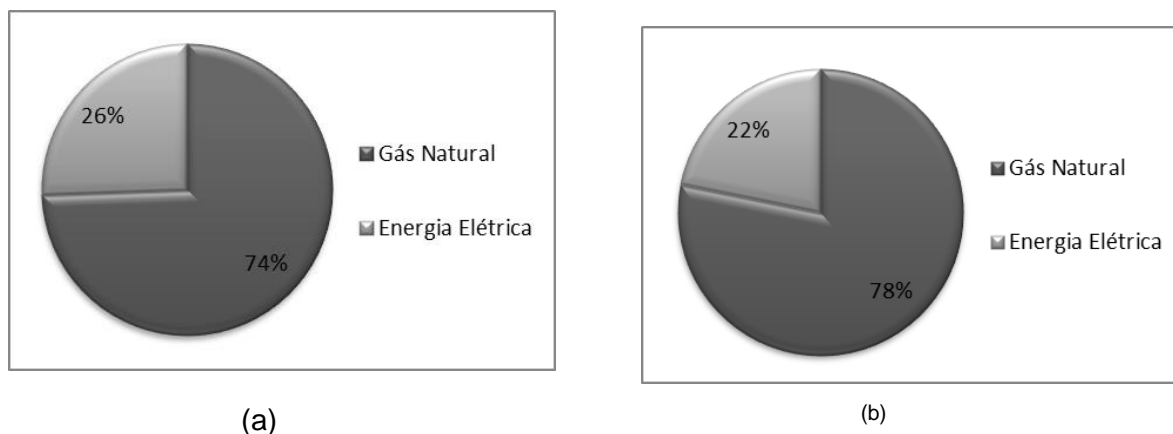


Figura 39 - Percentagens (a) consumo específico e intensidade energética e (b) intensidade carbónica

Tabela 8 - Indicadores Energéticos

Combustível	Energia [tep/ano]	IE [kgep/€]	CE [kgep/ton]	IC [ton CO _{2eq} /tep]
<i>Gás Natural</i>	1.545	0,93	78	2,00
<i>Energia Elétrica</i>	533	0,32	27	0,56
TOTAL	2.088	1,25	105	2,56

Tendo como comparação um Estudo Setorial sobre a Indústria Cerâmica efetuado pela CTCV [6] de onde foram extraídos os resultados apresentados na Figura 40, o subsetor da cerâmica de pavimento e revestimento para o ano de 2010 aparece com um consumo específico de 200 kgep/ton.

Comparando com valores apresentados de anos anteriores, o consumo específico tem vindo a decrescer pois tanto as tecnologias como a própria consciencialização para a eficiência energética, são temas que têm estado muito em voga criando melhorias substanciais. Considerando-se estes vetores acrescidos das flutuações na produção da Primus Vitória, o valor total de 105 kgep/ton apresenta-se inferior ao contabilizado.



Figura 40 - Consumo específico na indústria cerâmica [6]

4.3 Diagrama de blocos

Para melhor perceber o consumo energético da fábrica em análise, construiu-se um diagrama de blocos com o propósito de se analisar mais pormenorizadamente o consumo específico dos equipamentos com consumos energéticos superiores e qual a influência da produção nos mesmos.

Este tipo de diagrama tem como principal vantagem a simplificação da análise dos sistemas, não contendo nenhuma informação relativa à estrutura física do sistema. Trata-se portanto da representação gráfica de um dado processo, descrevendo as relações entre cada subsistema e o fluxo de informação, através de figuras geométricas e ligações. Os diagramas diferem-se dos fluxogramas por representarem pequenas partes de um grande sistema com foco no processo lógico.

O diagrama de blocos estudado trata-se de uma ligação sequencial, com o devido subsistema que incorpora os setores da aspiração, da prensagem, da secagem e da cozedura. Este diagrama é constituído por operações unitárias, onde é possível fazer o balanço do consumo específico de cada operação extrapolando para o consumo específico inerente ao processo total da produção de azulejos.

Para a construção de um diagrama de blocos ter-se-á que analisar cada operação individualmente segundo a Figura 41, por forma a defini-la tanto a nível de consumo energético como capacidade produtiva obtendo-se o consumo específico da atividade produtiva.

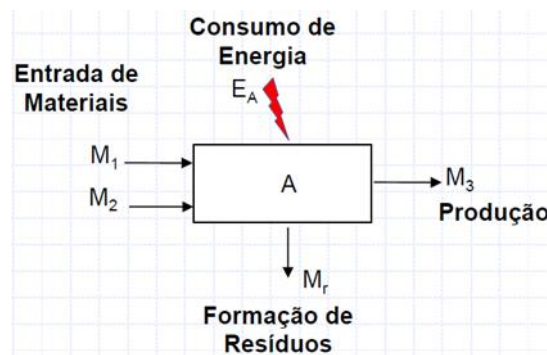


Figura 41 - Operação unitária

O consumo específico do subsistema é calculado da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 CE_{\text{subsistema}} &= CE_{\text{forno}} + S_{\text{forno}} \\
 &\times \left(CE_{\text{secador}} + S_{\text{secador}} \right. \\
 &\times \left. \left(CE_{\text{vidragem}} + S_{\text{vidragem}} \times \left(\left(CE_{\text{prensa}} + S_{\text{prensa}} \times (CE_1) \right) \right) \right) \right)
 \end{aligned}$$

Nesta equação o CE de uma dada operação consiste no consumo específico nela ocorrido, consistindo por tanto no quociente entre o consumo de energia sobre a produção dessa dada operação, enquanto que o CE_1 consiste no consumo específico a montante do processo produtivo, o que neste caso consiste na aspiração.

O S de uma dada operação é a formação de resíduos que desta provêm, o que no caso da atividade produtiva em estudo tratam-se de quebras de produto.

Os dados referentes à quantidade de material à entrada de cada operação foram obtidos recorrendo a inventários referentes a 2013, através da média dos metros quadrados produzidos em cada fase produtiva e multiplicando este valor por um coeficiente que conjuga a quantidade de metros quadrados por embalagem e o peso por embalagem. Assim como se efetuou a média das percentagens de quebras de produto ao longo do processo, recorrendo igualmente a inventários de 2013.

O consumo específico final é então 83 kgep/ton produzidas para o subsistema estudado. Comparando com o consumo específico total de 105 kgep/ton, o subsistema em estudo é responsável por cerca de 79% do processo produtivo total, pelo que o remanescente se relaciona com os setores produtivos restantes, da preparação dos esmaltes a aplicar nos azulejos e ao funcionamento da ETAR existente nas instalações.

5. Medidas de Eficiência Energética

5.1 Energia Elétrica

O consumo de energia elétrica é transversal a todos os setores produtivos pelo que para a obtenção dos dados a equacionar foi necessário fazer um levantamento de todos os motores e equipamentos consumidores de energia elétrica por setor. Os valores apresentados tratam-se, não obstante, de uma estimativa, tão fiel quanto possível à realidade, tendo em conta serem valores estimados em que se efetuou um ajustamento dos dados obtidos, pois apesar dos equipamentos trabalharem 24 sobre 24 horas, estão sujeitos a pausas para limpezas, alterações de vidro, eventuais anomalias, pelo que não se pode considerar que trabalhem a 100 % e sim ajustar com um dado fator de carga. O valor utilizado foi de 60 %, valor este usado pelo Engenheiro Isidro, que projetou a fábrica em estudo. No entanto, existem equipamentos que se sabe à priori que trabalham com um fator de carga de 50 % por este ser manualmente ajustado, como é o caso da aspiração, ou pelo tempo que se encontram sujeitos a paragens como o caso do secador e da prensa.

Os detalhes desta estimativa encontram-se no Anexo A, onde a partir das potências nominais, da quantidade de equipamentos por secção, do período de funcionamento e ainda do fator de carga, se obtém a energia elétrica consumida tanto em kWh como em tep por secção produtiva estudada.

Na Figura 42 apresenta-se a caracterização quanto ao consumo de energia elétrica nos diferentes setores, pelo que os setores produtivos com as maiores percentagens de consumo, à exceção da aspiração, como a prensa e o forno, têm instalados nos seus sistemas variadores de frequência por forma a modular o consumo energético consoante a carga de trabalho pelo que não foram observadas melhorias viáveis a efetuar.

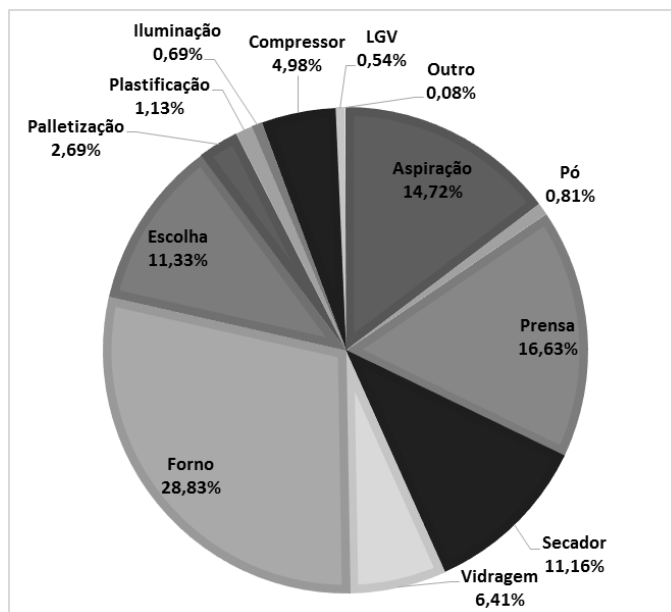


Figura 42 - Percentagens de consumo de energia elétrica

No caso do setor de aspiração, tal como mencionado anteriormente, o ventilador opera com uma vazão de aproximadamente 50% da sua potência nominal, pelo que apesar de ter um motor de 90 kW nominais instalado e uma potência aparente de 63 kVA, opera a uma potência inferior, aproximadamente de 52 kW, conforme observado na Figura 43 que agrega os dados obtidos através de um analisador de energia que se encontrou a medir as variáveis inerentes ao funcionamento do motor durante 24h.

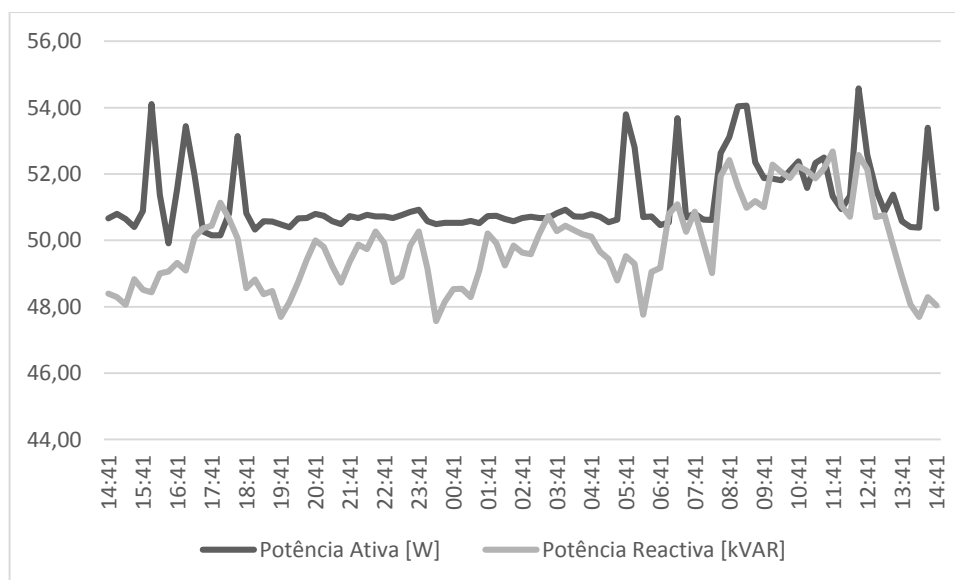


Figura 43 - Potência instantânea do motor de aspiração

Os picos na potência ativa que se encontram acima representados, devem-se ao facto de que quando se dá o abastecimento de pó nas instalações, um sensor é acionado pela obstrução causada pelo camião de descarga, sensor este que faz abrir uma secção de tubagem na zona de aspiração por forma a evitar que o pó se disperse pelo meio envolvente.

Dada a diferença entre a potência nominal do motor e a potência média obtida e sabendo que à saída do ventilador a tubagem tem um registo obstruindo metade da admissão de ar, ou seja, encontra-se a funcionar com carga a 50 %, pode-se concluir que o motor se encontra sobredimensionado, pelo que existe a hipótese de se substituir por outro com potência nominal inferior e com eficiência energética superior, ou seja, estudar-se-á a substituição do motor existente por um IE3 (eficiência energética *premium*).

Tendo em conta que o motor não se encontra a funcionar segundo as condições para as quais foi dimensionado, ter-se-á que se calcular o rendimento do motor segundo as condições atuais, utilizando-se a seguinte equação:

$$\eta = \frac{\left\{ \left[1 - \left(\frac{1}{\eta_t} - 1 \right) \right] \times P_{chapa} \times \left[0,3 \times \left(\frac{V}{V_R} \right)^2 + 0,7 \times \left(\frac{V \times I}{V_R \times I_R} \right)^2 \right] \right\}}{P_{medida}}$$

Onde η_t se trata do rendimento teórico obtido através da tabela que se encontra no Anexo B considerando que o motor instalado se trata de um IE1 de 4 pólos, ou seja, eficiência energética *standard*, a P_{chapa} , a V_R e a I_R são respetivamente a potência nominal, a tensão e a corrente do motor, segundo as características do mesmo. Por outro lado o V , o I e a P_{medida} , tratam-se respetivamente da tensão, da corrente e da potência obtidas a partir da média dos dados obtidos por medição através do analisador de energia.

Pelo que os valores acima mencionados se apresentam na equação abaixo, obtendo-se um rendimento de 94,12 % do funcionamento atual do motor.

$$\eta = \frac{\left\{ \left[1 - \left(\frac{1}{93} - 1 \right) \right] \times 90 \times \left[0,3 \times \left(\frac{403,72}{400} \right)^2 + 0,7 \times \left(\frac{403,72 \times 102,70}{400 \times 164,3} \right)^2 \right] \right\}}{51,66}$$

Com a eficiência real do motor e sabendo a potência média fornecida, a multiplicação destes dois elementos originam a potência que garante o funcionamento do ventilador da aspiração, pelo que é então necessário garantir o fornecimento de 48,62 kW de potência efetiva.

Segundo a tabela do Anexo B, o motor que irá substituir o existente tem então uma potência nominal de 55 kW, e instalando um motor da WEG com carga a 100 % tem-se uma eficiência de 95,3 %, como apresentado no Anexo C.

Fazendo o quociente entre a potência efetiva requerida para o funcionamento do ventilador e a eficiência do motor a substituir, obtém-se então uma poupança de 0,64 kW. O que ao final de um ano de trabalho traduz-se numa redução em cerca de 5.073 kWh, o equivalente a 655 € por ano.

Tendo em conta que o motor tem um custo de aquisição de 2.801,97 €, o tempo de retorno do investimento será de 4 anos e 2 meses para que o valor do mesmo seja amortizado.

Esta medida equivale a uma redução de 1,24 % no setor da aspiração, que no total da fatura do consumo de energia elétrica se traduz em 0,14 % de poupança.

Outro parâmetro analisado foi a energia reativa, energia esta que não é útil pelo qual a sua presença deve ser limitada pois gera maiores perdas energéticas através do efeito de Joule na forma de calor, obrigando a sobredimensionar de forma desnecessária a rede elétrica. A potência reativa pode ser controlada através de um aumento do fator de potência utilizando-se, como existem na empresa em estudo, baterias de condensadores. Esta compensação de energia reativa acarreta benefícios não só na redução da fatura como na redução de quedas de tensão e na proteção da vida útil das instalações.

Na componente da iluminação não foram observadas medidas passíveis de implementação pois além de se encontrarem instalados sensores de movimento em áreas menos movimentadas, as lâmpadas existentes na unidade fabril são na sua maioria lâmpadas fluorescentes compactas/tubulares que são utilizadas apenas em períodos de 8 horas pois a cobertura da instalação tem ao longo do seu comprimento painéis translúcidos que fornecem a iluminação suficiente para a operação. Em certas áreas onde é necessária uma iluminação apropriada como é o caso da linha de vidragem e da secção da escolha, usam-se lâmpadas LED ou fluorescentes tubulares.

A unidade fabril possui dois compressores, apesar de que estes não funcionarem em simultâneo pois um deles é um compressor de reserva e é somente necessário em situações de manutenção ou avarias, o ar admitido provém do exterior e é admitido a uma altura superior por forma a assegurar que a temperatura seja o mais baixa possível, pelo que também não foram assinaladas quaisquer alterações ao sistema, onde pelo menos uma vez ao ano, efetuam verificações de perdas de ar comprimido em todo o sistema.

5.2 Gás Natural

Os equipamentos que requerem Gás Natural para operarem são o secador, o forno e a plastificadora.

Para a caracterização dos consumos de cada equipamento realizaram-se levantamentos horários nos devidos contadores que são apresentados no Anexo D.

Dado que a plastificadora é o único equipamento que não tem um contador de gás natural instalado, teve que se subtrair ao sistema de distribuição geral os consumos dos restantes equipamentos.

É de salientar que os contadores existentes nos equipamentos fornecem os dados em metros cúbicos (m^3). Pelo que se procedeu à conversão para metros cúbicos normais (Nm^3), por ser a unidade parametrizada, ou seja, $15\text{ }^{\circ}C$ para a temperatura do fluido, enquanto que a pressão é lida no manómetro que se encontra a montante do contador, o equivalente a 1000 mbar no caso do secador e a 100 mbar referente ao forno. No caso do sistema de distribuição geral, dado que este faz a comunicação ao fornecedor de energia, apresenta os dados com a devida conversão.

Assim sendo obtiveram-se os valores apresentados na Figura 44.

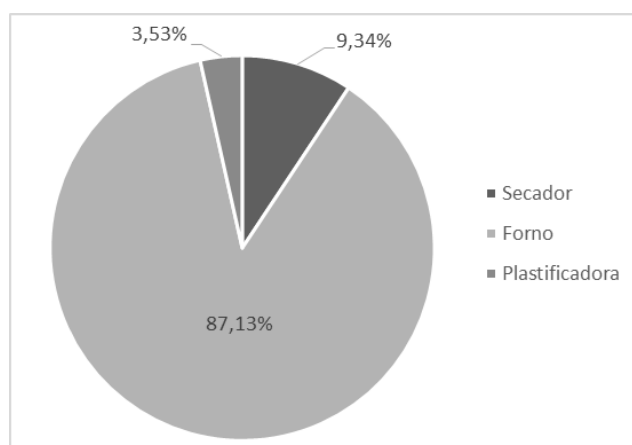


Figura 44 - Percentagens de consumos de gás natural

O forno é naturalmente o maior consumidor de gás natural pois opera com gamas de temperatura bastante altas, como já mencionado infra. Segue-se-lhe o secador, pois este necessita de garantir que a humidade seja praticamente retirada dos azulejos. A plastificadora encontra-se em último lugar, tendo em conta a sua intermitência operacional.

Tanto o secador como o forno são equipamentos recentes cujo funcionamento se encontra bastante otimizado do ponto de vista da eficiência energética, tendo em conta os reaproveitamentos de calor efetuados e reintegrados no próprio sistema, pelo que a

medida de eficiência energética estudada recai na plastificadora por se mostrar ser o equipamento mais simples de otimizar.

Tal como foi mencionado anteriormente, o processo de plastificação é feito de forma intermitente e individual, ou seja, assim que a paletizadora completa uma paleta, esta é de seguida transportada pelo LGV (*Laser Guide Vehicle*) até à plastificadora, o que dependendo do formato e de possíveis paragens de produção não é regular ao longo do tempo.

Na Tabela 9 apresenta-se a disparidade existente na plastificação das paletes dependendo do formato a ser produzido. Tendo em conta que os valores dos consumos energéticos acima apresentados dizem respeito ao formato 20X20, todos os cálculos efetuados terão por base esse mesmo formato. Nos restantes formatos pode existir variações ainda que ligeiras devido a variações nos tempos de cozedura e a variações do número de paletes plastificadas por hora.

Tabela 9 - Produção de Paletes

Formato	Capacidade [m ² /pal.]	Produção média [pal./dia]	Produção média [pal./hora]
15X15X5,50	120	67	2
20X20X6,80	102	81	4
20X30X7,30	88	73	3

Por forma a uniformizar o consumo energético na unidade produtiva em estudo, tendo em conta que não se poderá alterar os ciclos do forno por invalidar as características finais dos azulejos, equacionou-se a possibilidade de alterar a forma de plastificar uma paleta. A estratégia considerada passa por plastificar de forma contínua um dado conjunto de paletes, ou seja, assim que uma paleta se desloque da zona de cintagem para a aplicação do saco já se encontre uma outra para iniciar o processo de cintagem, ocorrendo o mesmo nos estágios sequenciais da plastificação, evitando-se intervalos vazios na conformação das paletes.

O problema que se coloca na plastificação contínua é o facto de que com o funcionamento contínuo dos queimadores, os rolos que transportam as paletes na plastificadora aquecerem significativamente fazendo com que a manga retráctil se funda nos mesmos causando deformações na plastificação da paleta.

Como parte do armazenamento das paletes é feito em parques a descoberto, existe a necessidade de uma plastificação sem defeitos devido à constante exposição a fatores climatológicos distintos, os quais podem causar deterioração do material acondicionado.

A plastificadora, tal como mencionado anteriormente, opera com dois queimadores compactos que aquecem o ar ambiente, tendo como temperatura de *setpoint* pré-definida

o valor de 250 °C. As curvas de temperaturas do ar na plastificadora são apresentadas na Figura 45.

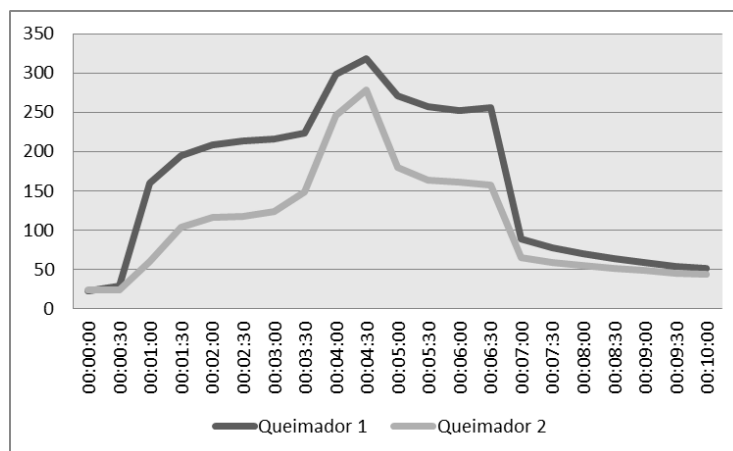


Figura 45 - Perfil dos queimadores

Após análise da figura supra é possível dizer que os queimadores operam em duas fases distintas. Numa primeira fase os queimadores não conseguem atingir esse patamar pelo que necessitam da intervenção de um segundo estágio, por forma a obter o valor de *setpoint*. Na realidade acaba por ser ultrapassado por breves momentos proporcionando um consumo extra de gás natural.

A manga retráctil utilizada para a plastificação das paletes consiste num polietileno de baixa densidade (PEBDL) cuja temperatura de VICAT é de 96 °C, temperatura à qual o plástico inicia a sua deformação/amolecimento, e a sua temperatura de extrusão encontra-se entre 190 e 240 °C.

O *setpoint* definido para a plastificadora é superior às temperaturas de operação da manga retráctil por forma a garantir que ao longo do intervalo de plastificação a paleta fique devidamente acondicionada. No entanto, para uma plastificação sequencial contínua, e tendo como premissa que não se verifica arrefecimento e reaquecimento do equipamento em apreço não é necessário uma temperatura de *setpoint* tão elevado pois os queimadores encontrar-se-ão acionados num intervalo de tempo contínuo, e tendo em conta esse mesmo intervalo, a temperatura utilizada poderia mesmo provocar defeitos na conformação das paletes.

Apesar da instalação se encontrar a efetuar plastificações unitárias, procedeu-se à redução do *setpoint* para 220 °C através do painel de controlo situado junto da plastificadora, por forma a testar o comportamento dos queimadores. No entanto, os queimadores continuaram a operar com o perfil acima apresentado, pelo que para a eliminação do pico de temperatura atingido ter-se-á (possivelmente) de proceder à regulação diretamente em cada um dos queimadores, obtendo-se uma curva linear sem picos desnecessários de temperatura.

É necessário ainda que se proceda ao estudo de qual o intervalo de tempo disponível para se plastificar paletes sem que a temperatura de fusão da manga retráctil seja atingida nos rolos de transporte, e conseqüentemente achar o número de paletes que se possam plastificar conjuntamente, evitando defeitos na plastificação. Os dados numéricos constam na Tabela 10.

Tabela 10 - Dados necessários [22]

Rolos (@300K)	Ar (@523,15K)
$d_{rolo} = 0,075 \text{ m}$	$V_{sai} = 6 \text{ m/s}$
$l = 1,25 \text{ m}$	$\vartheta = 41,93 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
$k_{rolo} = 80,2 \text{ W/m} \cdot \text{K}$	$k_{ar} = 42,18 \cdot 10^{-3} \text{ W/m} \cdot \text{K}$
$\rho = 7870 \text{ kg/m}^3$	$Pr = 0,6835$
$c_p = 447 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$	$d_{orificios} = 0,02 \text{ m}$

Inicialmente é premente descobrir o Número de Reynolds (Re), por forma a caracterizar o escoamento.

$$Re = \frac{V_{sai} \times d_{rolo}}{\vartheta} = 10.732,17 \leq 2 \times 10^5$$

O coeficiente de transferência de calor por convecção é obtido através da utilização do Número de Nusselt (Nu), que determina a condutividade térmica do fluido.

$$Nu = \frac{h \times d_{rolo}}{k_{ar}}$$

Tratando-se de um cilindro circular em escoamento cruzado e usando a correlação empírica proposta por Hilpert, o Número de Nusselt apresenta-se abaixo juntamente com os dados necessários à resolução do mesmo.

$$Nu = C \times Re^m \times Pr^{1/3} = 52,65$$

Tabela 11 - Constantes para cilindros circulares em escoamento cruzado [22]

Re_D	C	m
0,4–4	0,989	0,330
4–40	0,911	0,385
40–4000	0,683	0,466
4000–40.000	0,193	0,618
40.000–400.000	0,027	0,805

Consequentemente, o coeficiente de transferência de calor por convecção é dado por:

$$h = \frac{N_u \times k_{ar}}{d_{rolo}} = 29,61 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Após a obtenção do coeficiente de transferência de calor por convecção do ar quente da câmara para os rolos de transporte, é necessário calcular o Número de Biot (Bi), que consiste na razão entre a resistência térmica interna dos rolos de transporte e a resistência térmica na camada limite do ar injetado.

$$B_i = \frac{h \times d_{rolo}}{k_{rolo}} = 0,028 \ll 0,1$$

Dado se querer aferir quanto tempo é possível se plastificar sem qualquer defeito nas paletes, usar-se-á a seguinte expressão para se averiguar o tempo necessário para os rolos atingirem a temperatura de fusão do plástico.

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_i - T_{\infty}} = e^{-\frac{h}{d_{rolo} \times \rho \times c_p} \times t} = \frac{96 - 250}{27 - 250} = e^{-\frac{h}{d_{rolo} \times \rho \times c_p} \times t} \Leftrightarrow t = 3298 \text{ s} = 55 \text{ min}$$

Os cálculos acima efetuados são para cilindros maciços. Tendo em conta que os rolos de transporte existentes são ocos, fez-se uma relação entre áreas. Pelo que para rolos maciços a área seria de 0,0044 m², enquanto que na realidade é de apenas 0,0017 m². Existindo por conseguinte uma redução de área de 62 %, derivando portanto num período útil de tempo de 21 minutos ao invés dos 55 minutos calculados.

É ainda importante ter em conta que ao longo do ano a temperatura ambiente no interior das instalações altera-se pelo que o período útil de tempo para que a plastificação se processe sem defeitos reduz-se com o aumento da mesma.

Através de cronometragem obteve-se a duração dos diferentes estágios inerentes à plastificação de uma paleta que no total necessita cerca de 6 minutos, sendo que a cintagem demora 2 minutos, a aplicação do saco 1 minuto e a conformação da manga retráctil na paleta necessita 2 minutos, sendo o restante minuto gasto tanto no trajeto de entrada como de saída da paleta. Pode-se portanto concluir que o queimador está praticamente acionado durante todo o tempo da plastificação, pois este é acionado assim que se inicia a cintagem da paleta por forma a vencer a rampa de aquecimento inicial do ar que se encontra à temperatura ambiente.

Analisando o formato 20X20, pois foi o utilizado para obtenção dos consumos, são plastificadas 4 paletes numa hora, considerando que os queimadores se encontram 5

minutos acionado. Desprezando-se as deslocações das paletes à entrada e à saída da plastificadora, os queimadores encontram-se no total 20 minutos acionados. No entanto, para o caso de se plastificar as mesmas quatro paletes mas de forma sequencial, consegue-se diminuir para 11 minutos o tempo de utilização dos queimadores.

Tendo em conta os consumos de gás natural na plastificadora, e fazendo uma média chega-se a um consumo horário de 9,64 Nm³, o que, para o formato 20X20, é o necessário para plastificar individualmente quatro paletes.

Como explicado anteriormente, com uma plastificação conjunta os queimadores estarão ligados apenas 11 minutos numa hora ao invés dos 20 minutos que atualmente se verificam. O consumo seria então reduzido para 5,30 Nm³, conforme demonstrado abaixo.

$$Consumos_{plast. conjunta} = \frac{Consumo_{plast. unitária} \times \Delta t_{plast. conjunta}}{\Delta t_{plast. unitária}} = \frac{9,64 \times 11}{20}$$

Este valor traduz-se numa redução em cerca de 45 % do consumo de gás natural no setor da plastificação. No entanto dado que a plastificadora consome 3,53 % do consumo global de gás natural, o valor da redução será de 1,59 % do consumo global de gás natural nas instalações em estudo, conforme exemplificado na equação abaixo apresentada.

$$Redução_{total} = \frac{Redução_{plast} \times Consumo_{plast}}{100} = \frac{45 \times 3,53}{100} = 1,59 \%$$

Esta avaliação é puramente teórica, pelo que se terão de realizar ensaios experimentalmente para apurar a viabilidade tanto da plastificação sequencial como da poupança energética nos diferentes formatos produzidos.

É ainda necessário salientar que o LGV tem ainda como funções complementares abastecer a paletizadora e desobstruí-la assim que uma paleta esteja completa por forma a garantir um bom funcionamento da linha de produção, pelo que em certos períodos temporais o abastecimento sistemático e sequencial das quatro paletes poderá ser interrompido.

6. Conclusão

O presente relatório advém do Projeto GALP 20-20-20 realizado em parceria com a Universidade de Aveiro, realizado na Primus Vitória Azulejos SA.

O setor da indústria cerâmica é conhecido pelo seu elevado consumo energético, sendo considerada uma consumidora intensiva de energia pelo que é imperativo a implementação de medidas de eficiência energética por forma a reduzir não só os seus consumos energéticos assim como as suas emissões de gases com efeito de estufa.

Da análise energética realizada à unidade produtiva da Taboeira obteve-se uma visão mais precisa sobre os consumos inerentes à produção de azulejos para revestimento, onde o gás natural é o combustível responsável por cerca de dois terços do consumo energético total sendo o restante consumido por energia elétrica.

Através da análise efetuada, foram encontradas duas medidas de eficiência energética passíveis de implementação. Nomeadamente a substituição do motor existente no sistema de aspiração por um com uma menor potência nominal e mais eficiente, e a otimização do processo produtivo alterando de plastificações individuais para plastificação de conjuntos de quatro paletes.

A primeira diz respeito ao consumo de energia elétrica, consistindo na substituição do motor existente no setor de aspiração, que se traduz numa poupança de 0,14 % no consumo total de energia elétrica, o equivalente a 5.073 kWh ao ano e conseqüentemente uma poupança de 655 €/ano. Esta medida necessita de investimento para aquisição de um motor de 55 kW com um custo de 2.802 €, sendo o tempo de retorno desse investimento de 4 anos e 2 meses, com um VAL de 497 € calculado tendo em conta a subida do custo da energia elétrica em 1,5 % ao ano.

Apesar da redução dos consumos de energia elétrica não serem muito avultados ainda assim proporcionam uma poupança de 13 tep ao ano, correspondendo a uma redução da Intensidade Energética e do Consumo Específico em 0,62 %. Apesar de se manter a Intensidade Carbónica, as emissões de gases com efeito de estufa decresce em 2,3 % o equivalente a 28 toneladas de CO₂ por ano.

Em relação ao gás natural onde se procede a uma otimização/uniformização do processo produtivo, plastificando conjuntamente quatro paletes ao invés das atuais plastificações individuais, é possível uma redução de 1,59 % no consumo global de gás natural, redução esta que equivale à poupança cerca de 34.361 Nm³ ao ano que se traduz numa poupança de 18.842 €/ano.

Esta redução tem uma influência acrescida nos indicadores energéticos anteriormente referidos, reduzindo em 2,3 % a Intensidade Energética e o Consumo Específico, e ainda uma redução de 0,12 % na Intensidade Carbónica. A redução de gás natural é cerca de 49 tep num ano, reduzindo-se por conseguinte em 3,14 % as emissões de gases com efeito de estufa, o equivalente a 131 toneladas de CO₂ por ano.

Análise energética a uma Instalação Produtiva de Cerâmica de Revestimento

A aplicação das duas medidas acima expostas gera uma poupança conjunta em cerca de 19.500 € por ano e de 62 toneladas equivalentes de petróleo (tep), evitando a emissão de aproximadamente 160 toneladas de CO₂.

As poupanças provenientes das duas medidas acima anunciadas traduzem-se em reduções dos indicadores energéticos conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Indicadores energéticos atualizados aos novos consumos energéticos

Combustível	Poupança		IE [kgep/€]	CE [kgep/ton]	IC [ton CO _{2eq} /tep]
<i>Gás Natural</i>	1,59 %	18.842 €/ano	0,90	75,15	1,99
<i>Energia Elétrica</i>	0,14 %	655 €/ano	0,31	25,97	0,56
<i>TOTAL</i>	<i>Quant.</i> 38 tep	19.497 €/ano	1,21	101,12	2,56
	<i>%</i> 1,73 %		2,96	2,96	0,03

Como trabalho futuro proponho a instalação de um contador de gás natural na plastificadora, por forma a facilitar o levantamento de dados e a precisão dos mesmos, e ainda a regulação adequada do funcionamento dos queimadores da plastificadora para um *setpoint* inferior, para que a curva de temperatura do ar no processo da plastificação seja linear, evitando consumos desnecessários de gás natural.

7. Referências Bibliográficas

- [1] Serrano, A., Cunha, F., “Auditoria Energética”, CTCV, 2009;
- [2] AEP – Associação Empresarial de Portugal, Manual de Produção + Limpa da Indústria Cerâmica, BenchMark A+E, Dezembro 2011;
- [3] APICER – Associação Portuguesa da Indústria de Cerâmica, Guia de boas práticas de Gestão Estratégica na Indústria Cerâmica Europeia, Outubro de 2012;
- [4] Portal da Cerâmica (<http://www.ceramica.pt/setor.php?s=revestimento>) “Setor”, Visto em 10/07/2014;
- [5] EFINERG, Estratégia de eficiência energética em PME, Novembro 2012;
- [6] CTCV – Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro, Estudo Setorial – Indústria Cerâmica, Dezembro 2012;
- [7] Area Celular (<http://www.areacelular.pt/empresa.php?id=23>) “Primus Vitoria - Azulejos, S.A.” Visto em 25/07/2014;
- [8] Primus Vitória (<http://www.primusvitoria.com/ptempresa.php>) “Empresa” Visto em 25/07/2014;
- [9] Primus Vitória (<http://www.primusvitoria.com/ptinfortec.html>) “Informações Técnicas” Visto em 25/07/2014;
- [10] Adelino Duarte da Mota, Características Pó atomizado, Grupo Mota, 2010;
- [11] SACMI IMOLA S.C. (<http://www.sacmi.com/en-US/News-Area/News-by-Business/Ceramics/PH-3020.aspx?idC=61115&idO=11248&LN=en-US>) (2014) “New ceramic tile press” Visto em 04/07/2014;
- [12] SACMI IMOLA S.C., Hydraulic Press Series 2000
- [13] SACMI IMOLA S.C., Manual de instruções de uso e manutenção do Secador de cinco planos, ECP. 01. P02;
- [14] Canotilho, M., Processos de cozedura em cerâmica, Edição do Instituto Politécnico de Bragança, 2003;
- [15] SACMI IMOLA S.C., Manual de instruções de uso e manutenção do Forno monocanal de rolos, FMR.02.IPT, 24 de Junho de 2003;
- [16] SACMI Automation, Manual de instruções do Calibre de sensores planar de cabeçotes ópticos, SA128.05.PT;

[17] SACMI Automation, Manual de instruções da Selecção e Empilhamento, SA126.11.PT;

[18] SACMI Automation, Manual de instruções da Embaladora automática, SA127.04.PT;

[19] WEG Group, Technical Catalogue European Market – Three Phase Electric Motor, W22 Electric Motor, 2014;

[20] Diário da República, 1.^a série — N.º 74 — 15 de Abril de 2008, Decreto-Lei n.º 71/2008 de 15 de Abril, 7.º Artigo;

[21] Diário da República, 2.^a série — N.º 122 — 26 de Junho de 2008, Despacho n.º 17313/2008.

[22] Incropera, F., Dewitt, D., Bergman, T., Lavine, A., “Fundamentals of Heat and Mass Transfer”, Sixth Edition, 2008.

8. Anexos

Anexo A – Estimativa dos consumos de energia elétrica

Seções	Motores			Fator de Carga	Energia [kWh/dia]	kWh/ Secção	tep/ Secção
	Quant	Potência [kW]	Tempo [h]				
Aspiração	1	90	24	0,5	1080,00	1106,40	0,2379
	1	2,2	24	0,5	26,40		
Pó	1	7,5	4	0,3	9,00	60,96	0,0131
	1	2,2	4	0,3	2,64		
	1	1,5	4	0,3	1,80		
	1	1,1	4	0,3	1,32		
	2	0,75	4	0,3	1,80		
	1	5,5	8	0,5	22,00		
Transporte silos/prensa	2	1,5	8	0,5	12,00		
	1	1,25	8	0,5	5,00		
	1	1,1	8	0,5	4,40		
	1	0,25	8	0,5	1,00		
Prensa	1	90	24	0,5	1080,00	1250,04	0,2688
	1	7,5	24	0,5	90,00		
	1	5,5	24	0,5	66,00		
	2	0,37	24	0,5	8,88		
	1	0,25	24	0,5	3,00		
	1	0,18	24	0,5	2,16		
Secador	4	11	24	0,5	528,00	839,16	0,1804
	1	7,5	24	0,5	90,00		
	2	2,2	24	0,5	52,80		
	3	0,75	24	0,5	27,00		

Análise energética a uma Instalação Produtiva de Cerâmica de Revestimento

		19	0,37	24	0,5	84,36		
		19	0,25	24	0,5	57,00		
	Preparação	8	5,5	4	0,3	52,80		
		1	1,5	22	0,6	19,80		
		2	1,3	22	0,6	34,32		
		1	1,1	22	0,6	14,52		
		24	0,75	22	0,6	237,60		
Vidragem	Aplicação	1	0,55	22	0,6	7,26	482,06	0,1036
		2	0,48	22	0,6	12,67		
		7	0,37	22	0,6	34,19		
		18	0,25	22	0,6	59,40		
		4	0,18	22	0,6	9,50		
	Entrada	4	0,55	24	0,6	31,68		
		9	0,37	24	0,6	47,95		
		2	30	24	0,6	864,00		
		1	21,3	24	0,6	306,72		
		1	15	24	0,6	216,00		
		1	11	24	0,6	158,40		
		1	8,6	24	0,6	123,84		
Forno	Forno	1	4	24	0,6	57,60	2167,34	0,4660
		1	2,2	24	0,6	31,68		
		1	0,75	24	0,6	10,80		
		2	0,55	24	0,6	15,84		
		35	0,37	24	0,6	186,48		
	Saída	12	0,55	24	0,6	95,04		
		4	0,37	24	0,6	21,31		
	Linhas	2	4	24	0,55	105,60		
Escolha/		11	0,75	24	0,55	108,90	851,80	0,1831

Análise energética a uma Instalação Produtiva de Cerâmica de Revestimento

Empacotamento	Carga/Descarga	9	0,55	24	0,55	65,34			
		15	0,37	24	0,55	73,26			
			2	1,47	24	0,6	42,34		
			24	0,75	24	0,6	259,20		
		Escolha	2	0,55	24	0,6	15,84		
			8	0,37	24	0,6	42,62		
			2	0,18	24	0,6	5,18		
			2	0,55	24	0,6	15,84		
		Empacotamento	10	0,37	24	0,6	53,28		
			2	0,09	24	0,6	2,59		
			6	0,55	24	0,5	39,60		
		Junção de Linhas	5	0,37	24	0,5	22,20		
			1	3,87	24	0,6	55,73		
			2	3,8	24	0,6	109,44		
	Paletização		1	1,67	24	0,6	24,05	202,46	0,0435
		1	0,55	24	0,6	7,92			
		1	0,37	24	0,6	5,33			
		1	2,2	12	0,6	15,84			
		1	1,1	12	0,6	7,92			
Plastificação		1	0,78	12	0,6	5,62			
		1	0,68	12	0,6	4,90	85,10	0,0183	
		11	0,55	12	0,6	43,56			
		1	0,37	12	0,6	2,66			
		1	0,28	12	0,6	2,02			
		2	0,18	12	0,6	2,59			
Iluminação	LFC	82	0,075	8	0,5	24,60			
	LFT	79	0,058	8	0,5	18,33	52,22	0,0112	
	LED	18	0,018	8	0,5	1,30			


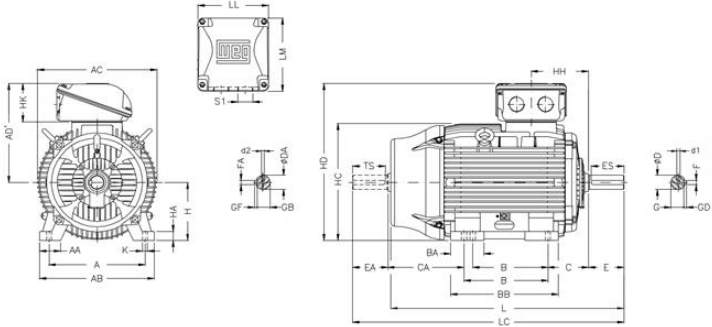
Análise energética a uma Instalação Produtiva de Cerâmica de Revestimento

IM	8	0,250	8	0,5	8,00		
Ar Comprimido	1	26	24	0,6	374,40	374,40	0,0805
LGV	1	7,5	12	0,45	40,50	40,50	0,0087

Anexo B – Tabela de Eficiências Energéticas para motores elétricos [19]

Output	IE1 - Standard Efficiency			IE2 - High Efficiency			IE3 - Premium Efficiency		
	Poles			Poles			Poles		
kW	2	4	6	2	4	6	2	4	6
0.75	72.1	72.1	70.0	77.4	79.6	75.9	80.7	82.5	78.9
1.1	75.0	75.0	72.9	79.6	81.4	78.1	82.7	84.1	81.0
1.5	77.2	77.2	75.2	81.3	82.8	79.8	84.2	85.3	82.5
2.2	79.7	79.7	77.7	83.2	84.3	81.8	85.9	86.7	84.3
3	81.5	81.5	79.7	84.6	85.5	83.3	87.1	87.7	85.6
4	83.1	83.1	81.4	85.8	86.6	84.6	88.1	88.6	86.8
5.5	84.7	84.7	83.1	87.0	87.7	86.0	89.2	89.6	88.0
7.5	86.0	86.0	84.7	88.1	88.7	87.2	90.1	90.4	89.1
11	87.6	87.6	86.4	89.4	89.8	88.7	91.2	91.4	90.3
15	88.7	88.7	87.7	90.3	90.6	89.7	91.9	92.1	91.2
18.5	89.3	89.3	88.6	90.9	91.2	90.4	92.4	92.6	91.7
22	89.9	89.9	89.2	91.3	91.6	90.9	92.7	93.0	92.2
30	90.7	90.7	90.2	92.0	92.3	91.7	93.3	93.6	92.9
37	91.2	91.2	90.8	92.5	92.7	92.2	93.7	93.9	93.3
45	91.7	91.7	91.4	92.9	93.1	92.7	94.0	94.2	93.7
55	92.1	92.1	91.9	93.2	93.5	93.1	94.3	94.6	94.1
75	92.7	92.7	92.6	93.8	94.0	93.7	94.7	95.0	94.6
90	93.0	93.0	92.9	94.1	94.2	94.0	95.0	95.2	94.9
110	93.3	93.3	93.3	94.3	94.5	94.3	95.2	95.4	95.1
132	93.5	93.5	93.5	94.6	94.7	94.6	95.4	95.6	95.4
160	93.8	93.8	93.8	94.8	94.9	94.8	95.6	95.8	95.6
200 up to 375	94.0	94.0	94.0	95.0	95.1	95.0	95.8	96.0	95.8

Anexo C – Orçamento para motor elétrico IE3 de 55 kW

		No.: WPT.2014.09.5275																
		Data: 09-09-2014																
FOLHA DE DADOS Motor Trifásico de Indução - Rotor de Gaiola																		
Cliente : Linha do produto : W22 - Cast Iron Frame - Premium Efficiency - IE3																		
Carcaça : 250S/M Potência : 55 kW Frequência : 50 Hz Número de pólos : 4 Rotação nominal : 1480 Escorregamento : 1,33 Tensão nominal : 400/690 V Corrente nominal : 96,9/56,2 A Corrente de partida : 766/444 A Ip/In : 7,9 Corrente a vazio : 41,0/23,8 A Conjugado nominal : 355,08 Nm Conjugado de partida : 280 % Conjugado máximo : 330 % Categoria : N Classe do isolamento : F Elevação de temperatura : 80 K Tempo de rotor bloqueado : 14 s (quente)		Fator de serviço : 1,00 Regime de serviço : S1 Temperatura ambiente : -20°C - +40°C Altitude : 1000 m Proteção : IP55 Massa aproximada : 507 kg Momento de inércia : 1,1093 kgm² Nível de pressão sonora : 64 db(A)																
		<table border="1"> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">Dianteiro</td> <td style="text-align: center;">Traseiro</td> </tr> <tr> <td>Rolamento</td> <td style="text-align: center;">6314 C3</td> <td style="text-align: center;">6314 C3</td> </tr> <tr> <td>Interv. lubrif.</td> <td style="text-align: center;">14000 h</td> <td style="text-align: center;">14000 h</td> </tr> <tr> <td>Quant. de graxa</td> <td style="text-align: center;">27 g</td> <td style="text-align: center;">27 g</td> </tr> </table>			Dianteiro	Traseiro	Rolamento	6314 C3	6314 C3	Interv. lubrif.	14000 h	14000 h	Quant. de graxa	27 g	27 g			
	Dianteiro	Traseiro																
Rolamento	6314 C3	6314 C3																
Interv. lubrif.	14000 h	14000 h																
Quant. de graxa	27 g	27 g																
		<table border="1"> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">DESEMPENHO EM CARGA</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Carga</th> <th style="text-align: center;">Fator potência</th> <th style="text-align: center;">Rendimento (%)</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">100%</td> <td style="text-align: center;">0,86</td> <td style="text-align: center;">95,3</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">75%</td> <td style="text-align: center;">0,81</td> <td style="text-align: center;">95,0</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">50%</td> <td style="text-align: center;">0,71</td> <td style="text-align: center;">94,6</td> </tr> </table>		DESEMPENHO EM CARGA			Carga	Fator potência	Rendimento (%)	100%	0,86	95,3	75%	0,81	95,0	50%	0,71	94,6
DESEMPENHO EM CARGA																		
Carga	Fator potência	Rendimento (%)																
100%	0,86	95,3																
75%	0,81	95,0																
50%	0,71	94,6																
Observações: ACOPLAMENTO DIRECTO																		
																		
A 406	AA 100	AB 506	AC 486	AD' 402	B 311/349	BA 146	BB 467											
C 168	CA 354/316	D 65m6	E 140	ES 125	F 18	G 58	GD 11											
DA 60m6	EA 140	TS 125	FA 18	GB 53	GF 11	H 250	HA 43											
HB 290	HC 493	HD 652	HF 449	HG 566	HH 214	HK 143	K 24											
L 965	LC 1113	LL 269	LM 285	S1 2XM63X1,5	d1 DM20	d2 DM20												
Executado: WEG - Região Centro				Verificado:														

*Todos os dados aqui apresentados estão sujeitos a alteração sem prévio aviso. Nível de ruído com tolerância de +3 dB(A). Versão 6.0.17

Anexo D – Consumos horários [Nm³]

Sistema de Distribuição	Forno	Secador	Plastificadora
302,66	250,58	30,70	21,37
289,69	254,13	29,76	5,81
292,41	249,75	34,28	8,38

Sistema de Distribuição	Forno	Secador	Plastificadora
289,70	246,42	30,32	12,95
249,38	237,46	9,04	2,88
222,72	184,45	21,66	16,61

Sistema de Distribuição	Forno	Secador	Plastificadora
293,65	251,63	35,22	6,80
297,24	260,48	33,53	3,23
264,22	242,67	12,81	8,74