



**Relatório de Disciplina
Tecnologia de Materiais Cerâmicos**



**Maria Clara Henriques Baptista Gonçalves
Maio 2016**

Relatório a que se refere a alínea b) do artº 8 do Decreto-Lei nº 239/2007, de 19 de Junho, para provas conducentes à atribuição do título académico de Agregado, no ramo de Engenharia de Materiais, na Universidade Nova de Lisboa.



Ao Prof. Rui M. Almeida por 30 anos de trabalho conjunto, em vidros e em cristais. Em particular, agradeço-lhe ter-me confiado a organização e leccionação da disciplina Tecnologia de Materiais Cerâmicos e Vidros.

Às fábricas de cerâmica e vidro nacionais, por nos abrirem as suas portas e disponibilizarem os seus quadros técnicos no acompanhamento de alunos em visitas de estudo, em estágios de curta duração, na co-orientação de trabalhos finais de curso e dissertações de mestrado, e ainda pelas fantásticas palestras com que nos presentearam. Um especial agradecimento a Saint Gobain Glass Portugal, Sotancro (hoje B&A), Santos Barosa, Crisal, Atlantis, Novagrés (hoje Love Tiles), Vista Alegre e Rauschert. À Recer um muito obrigado pela enorme gentileza com que nos tem recebido ao longo dos últimos anos.

Um dia numa fábrica vale mais do que mil imagens....

Índice

Introdução	4
Inserção e enquadramento da disciplina	10
A Tecnologia dos Materiais Cerâmicos no Plano de estudos	10
Interdependência com outras disciplinas	11
Objectivos	14
Justificação do Programa	15
Notas da História da Cerâmica e do Vidro em Portugal	15
Tecnologia da Cerâmica e do Vidro em universidades estrangeiras	40
Estrutura do Programa	41
Conteúdo Programático	44
Bibliografia	73
Métodos de Ensino e Organização Pedagógica	78
Avaliação	78
Conclusão	80
Anexos	81
Exemplo de Provas de Avaliação	82
Material de Apoio de Tecnologia de Materiais Cerâmicos (CD)	

Introdução

Em Portugal a cerâmica e o vidro integraram e desenvolveram técnicas, processos produtivos, estéticas e *design* de diferentes origens e longitudes. Primeiro as manufacturas e, depois, as indústrias acompanharam o que de melhor se produziu em cada época (ver *Algumas notas sobre a História da Cerâmica e do Vidro em Portugal*). O vidro foi capaz de demarcar uma região industrial (Região Demarcada do Vidro da Marinha Grande, mais tarde Marinha Grande, Centro de Engenharia e *Design*) e de criar uma marca (*Mglass*), enquanto a cerâmica surpreendeu as correntes artísticas europeias e internacionais com a criação de painéis murais *com motivo, paisagísticos e/ou figurativos*, únicos e exclusivos. Hoje o *Azulejo Português* é candidato a Património da Humanidade da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e Cultura (UNESCO). Quer o vidro quer a cerâmica deram origem a Centros Tecnológicos (CTCV, Coimbra, CENCAL, Caldas da Rainha), a Museus (Museu Vidro, Marinha Grande, Museu do Azulejo, Lisboa) e a Centros de Interpretação (Oliveira Azeméis, Castel de Paiva, respectivamente).



Se olharmos agora para os sectores da cerâmica e do vidro, em Portugal e na Europa, encontramos unidades produtivas equipadas com maquinaria de última geração, que integram tecnologia e *design*, definem novos produtos e tendências e antecipam novas formas produtivas, para além de deterem elevada competitividade e satisfazerem os mercados mais exigentes. Actualmente o vidro de produção nacional afirma-se no mercado global em segmentos como: i) vidro de embalagem branco, verde e âmbar (Barbosa & Almeida, SA., Santos Barosa, Verallia, Vidrala-Gallo), ii) vidro de mesa e hotelaria (Crisal Glass), iii) cristalaria (VA Atlantis), e iv) lentes oftálmicas (Rolislente, FNO, Shamir Optical), tendo sido desactivada recentemente a única fábrica de vidro plano do país (Saint-Gobain Portugal Glass). Apontamos ainda a existência de uma unidade nacional de tratamento de casco (Vidrociclo, Figueira da Foz) insuficiente, contudo, para as necessidades do sector vidreiro nesta *matéria prima*.

Quanto à cerâmica, os subsectores de: i) revestimento industrial (grés, grés porcelânico, azulejo cerâmico) (Recer, Revigrés, Cinca, Gresart, Love Tiles, Dominó) e artesanal ou semi-industrial (Viúva Lamego, Sant'Ana, Constância, Terracotta, Aresta Viva, Azulejaria Portuguesa Santiago, Azulima), ii) hotelaria e restauração (porcelana) (VA Atlantis, SPAL, Porcel, NG, Costa

Verde, RiaStone) e iii) faiança (Bordalo Pinheiro, Costa Nova) desempenham um papel de liderança técnica e artística a nível europeu e mundial, enquanto o subsector de iv) sanitários (Sanindusa, Sanitana, Roca, Eurocert), recentemente reestruturado, se afirmou no mercado europeu (de onde Espanha, França e Alemanha continuam os nossos maiores clientes). Na cerâmica destacamos ainda o subsector de v) cerâmica técnica, com uma unidade produtiva do grupo alemão Rauschert.

Na cerâmica, o subsector dos produtos ligados à construção civil (revestimentos, sanitários) exporta 60% da produção nacional, enquanto a vertente ligada à hotelaria/restauração/decoração-e-casa aproxima-se dos 80% [1]. No vidro, os subsectores de cristalaria [1] e do vidro de embalagem [2] exportam 80% da produção.

Nos sectores da cerâmica e do vidro o *design* nacional tem evoluído nos últimos anos, sendo a recente (2015) atribuição do prémio de *design* alemão **Red Dot Awards** testemunho desse reconhecimento. Entre as peças premiadas encontra-se a colecção *Cromática da Revigrés* (Fig. 1), revestimento de parede e de pavimento em grés porcelânico (40 cores, 10 formatos e quatro acabamentos distintos), seleccionado para revestimento (interior e exterior, parede e chão) da *Sagrada Família*, Gaudí, em Barcelona.

O serviço *Orquestra* (IDPpool, incubadora de novos talentos da VA Atlantis) e a colecção de caixas *Plissé*, também da VA Atlantis (Figs. 2 e 3) são duas outras colecções igualmente distinguidas com **Red Dot Awards**. Ao serviço *Orquestra* foi igualmente atribuído o prémio de *design* da revista **Wallpaper**.

Já em 2016, a Colecção *Sardinhas* da Bordallo Pinheiro recebe a Menção Honrosa **M&P** (assim como o *stand* VA Atlantis, na feira Messe/Franckfurt, 2015; já o catálogo VA Atlantis é galardoado com o prémio de *design* norte-americano **Summit International Awards**). A VA Atlantis tem hoje nove peças nomeadas para o **German Design Award**, 2016.

A empresa Roca recebeu nos últimos anos inúmeros prémios internacionais de *design*, de que destacamos - *Designer Kitchen & Bathroom Awards* (2013) (Melhor Inovação em Sustentabilidade, Melhor Inovação em Funcionalidade), *In-Tank Meridian*, da revista *Actualidad Económica* (2013), *Wallpaper Design Awards* (2013), *FIAP - Festival Iberoamericano de la Publicidad* (2012) (*Ambient Design Award*), *Festival Internacional El Ojo de Iberoamérica* (2012) (*Prémio de design*), *Laus Design and Communication Awards* (*Company Gold Award and Grand Laus*) (2012), *Architectural Record* (2011) (*Good Design is Good Business*), *Delta Industrial Design Awards* (2011) (*Prémio de prata em Melhor Design de Produtos*), *Best ed!*

European Environmental Design Award (2010) (Prémio de Design Industrial), Cannes Lions - Festival Internacional de Criatividade (2010) (Leão de Prata em Design), Concurso Anual de Design 365 da Aiga (2010) (Excelência em Design), IALD - International Lighting Design Awards (2010) (Menção especial), KBB Review Industry Awards (2010) (Prémio de Produto de Inovação Ambiental), Self-Build Awards (2010) (Melhor Produto de Inovação) e WAN - World Architecture News Awards (2010) (Melhor Produto), Design Plus by ISH (2009) (Design Extraordinário e Inovador) (Fig. 4).



Quanto à Europa, a UE permanece o maior produtor mundial de vidro, com uma cota de mercado próxima de um terço da produção mundial [3]. Os sectores europeus do vidro de embalagem, de vidro plano e de vidro técnico são hoje reconhecidos pela elevada qualidade de produto, pela capacidade de inovação tecnológica, e pela qualificação da força de trabalho. Em 2012 o sector do vidro empregava, na Europa, 100 mil trabalhadores [3].

No mercado europeu, o sector industrial da cerâmica mantém a liderança mundial em segmentos de elevada qualidade, como revestimentos, refractários técnicos, sanitários, vitrocerâmicos e condutas. O tecido industrial da cerâmica, europeu e nacional, é constituído por empresas de pequena ou média dimensão (PMEs), de elevado potencial de inovação técnica e *design*. O sector cerâmico europeu evidencia hoje fortes sinais de recuperação, após a última crise económica onde foi duramente atingido [3].

Com o presente relatório pretende proceder-se à organização formal da unidade curricular Tecnologia dos Materiais Cerâmicos, definir o seu âmbito e objectivos, explicitar as competências a desenvolver pelos estudantes e desenhar metodologias de ensino que visem promover a qualidade da aprendizagem. Após pontos como Inserção e Enquadramento da Disciplina, Objectivos, Justificação de Programa, o presente relatório prossegue com a

Estrutura do Programa, Conteúdo Programático, Bibliografia, Métodos de Ensino e Organização Pedagógica, Avaliação e Conclusão da Disciplina de Tecnologia de Materiais Cerâmicos, tal como é actualmente leccionada, e de acordo com o plano de estudos do Mestrado em Engenharia de Materiais do IST (disciplina obrigatória, 1º ano Mestrado, 1º semestre) do Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa. A autora concebeu e implementou o plano curricular da disciplina, tendo leccionado e sido responsável pela mesma no período decorrido entre 1993 e 2014. Hoje partilha a leccionação com o Prof. Rui M. Almeida, professor catedrático em Engenharia de Materiais e especialista em Vidros, mantendo a responsabilidade na área da cerâmica.

Numa perspectiva de interligação entre a docência e as áreas de competência da candidata, reconhece-se a existência de conteúdos transponíveis entre a unidade curricular, à qual se refere o presente relatório, e a actividade de investigação desenvolvida ao longo da sua vida académica. Relativamente à actividade de investigação, a candidata tem projectado, sintetizado e caracterizado novos materiais vítreos em: i) diversos sistemas - fluoretos, teluretos, silicatos e titanatos; ii) em diversas topologias - 3D (vidros maciços, opalas directas, infiltradas e inversas), 2D (filmes finos e recobrimentos amorfos), 1D (fibras ópticas) e 0D (nanopartículas amorfas); iii) e por distintos métodos de fabrico - fusão clássica seguida de arrefecimento rápido (*melting/quenching*), PVD e sol-gel.

A autora possui ainda uma visão integrada do sistema industrial nacional nos sectores da cerâmica e do vidro, pelas múltiplas visitas que realizou a unidades produtivas no âmbito das disciplinas *Tecnologia dos Materiais Cerâmicos e Vidros*, *Tecnologia dos Materiais Cerâmicos e Materiais Cerâmicos e Vidros*, pela orientação de estágios fabris, de projectos finais de curso e de mestrados em ambiente empresarial, como avaliadora independente do IPQ (onde avaliou e/ou acreditou vários laboratórios industriais) e ainda como perita técnica da AdI e AnI (onde avaliou inúmeros projectos QREN e candidaturas a P2020).

A base da escolha desta disciplina para a elaboração do presente relatório assenta, em última análise, num cariz eminentemente prático, mas de relevante importância: a oportunidade de reflectir sobre uma unidade curricular que foi implementada, leccionada e da responsabilidade da autora desde a sua entrada em funcionamento, e que corresponde a uma fatia muito significativa e competitiva dos sectores industriais nacional e europeu.

Fig. 1 Sagrada Família, Gaudi, Barcelona – revestimento *Cromática*, Revigrés, premiada



Fig. 2 Coleção *Tecido*, Vista Alegre Atlantis, nomeada 



Fig. 3 Algumas das colecções Vista Alegre Atlantis premiadas ou nomeadas para prémios internacionais de *design*



Fig. 4 Peça Roca distinguida com prémio internacional **BTWIST**



Referências

[1] APICER <http://www.portaldalideranca.pt/lideres/entrevistas/4519>

[2] AIVE <http://aive.pt/>

[3] European Commission. Growth, Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMES
http://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/industries/non-metals/ceramics/index_en.htm

Inserção e enquadramento da disciplina

Tecnologia de Materiais Cerâmicos no Plano de estudos

A disciplina Tecnologia de Materiais Cerâmicos e Vidros foi criada em 1993, como uma unidade curricular obrigatória da licenciatura de Engenharia de Materiais (pré-Bolonha), situando-se no 1º semestre do 4º ano, semestre dedicado a tecnologias de fabrico de distintas classes de materiais. Durante a implementação do processo de Bolonha em 2007/2008, a unidade curricular passa a designar-se por Tecnologia de Materiais Cerâmicos, tendo a sua orientação e o conteúdo programático sido devidamente adoptados à reforma curricular e estrutural adoptada pelo sistema universitário português. A autora considera, no entanto, a designação inicial da disciplina mais assertiva, pois embora o vidro tenha sido considerado um subgrupo dos Cerâmicos durante muito tempo (e ainda hoje o é por autores de referência como WD Klingery, *Introduction to Cerramics*, Wiley, ou CB Carter *Ceramic Materials*, Springer) pela sua importância tecnológica, científica e comercial é hoje considerado uma classe de materiais *de per si*.

Após implementação do processo de Bolonha, a disciplina Tecnologia dos Materiais Cerâmicos mantém o carácter obrigatório e a integração no semestre das tecnologias - 1º semestre do 1º ano, do plano curricular do Mestrado em Engenharia de Materiais. No actual plano de estudos a unidade curricular Tecnologia de Materiais Cerâmicos apresenta um regime semestral, sendo-lhe atribuída uma carga horária semanal de quatro horas e meia, das quais três horas são teóricas (T) e uma hora e meia práticas (P). Seis dos 136 ECTS correspondentes a este mestrado são relativos à presente unidade curricular.

No actual 1º ciclo em Engenharia de Materiais (Licenciatura em Engenharia de Materiais), a área de Cerâmica e do Vidro encontra-se representada pela disciplina Materiais Cerâmicos e Vidros (3º ano, 2º semestre). Na sequência das directrizes de Bolonha, Materiais Cerâmicos e Vidros é uma disciplina introdutória (e necessariamente generalista), na qual se introduzem os princípios básicos desta área do saber. A oferta de uma disciplina adicional na área dos Cerâmicos e Vidros permite aprofundar conhecimentos anteriormente introduzidos e alargar o estudo às tecnologias de fabrico.

Gostaríamos ainda de realçar que sendo esta disciplina leccionada num Mestrado em Engenharia de Materiais, é a única que aborda ciência coloidal e reologia de suspensões coloidais, conferindo aos alunos ferramentas igualmente úteis noutras áreas de Engenharia como a indústria alimentar, a farmacêutica, a agroquímica, a cosmética, a de polímeros, a de

tintas e óleos, estando ainda na base de um conjunto alargado de produtos como alimentos processados e filmes fotográficos.

Tendo sido criada para o segundo ciclo em Engenharia de Materiais, a disciplina Tecnologia de Materiais Cerâmicos pode funcionar, no entanto, como opcional para alunos de outros Mestrados em Engenharia, de particular relevância para os Mestrados em Engenharia e Gestão Industrial e Engenharia de Minas, ou os Mestrados Integrados em Engenharia Química ou Engenharia Civil.

Interdependência com outras disciplinas

Na construção de um plano curricular a coerência temática das unidades curriculares, a sucessão de temas e a sua interligação, afirmam-se como determinantes na construção de um conhecimento integrante, plural e crítico.

No Instituto Superior Técnico, o plano de estudos em Engenharia de Materiais contempla três níveis de preparação. Os quatro primeiros semestres (da Licenciatura) assentam na formação base em áreas científicas como Matemática, Física, Química e Biologia. Do quinto ao nono semestre (englobando o final da Licenciatura e início do Mestrado) o conteúdo programático centra-se nas Ciências e Tecnologia de Materiais, sendo o último semestre de especialização, onde o aluno desenvolve um trabalho de I&D em ambiente fabril ou em unidades nacionais de investigação.

A disciplina de Tecnologia dos Materiais Cerâmicos encontra-se numa posição de excelência no actual plano de estudos; ao aluno já foram oferecidos os fundamentos teóricos, as ferramentas de cálculo e as técnicas de caracterização necessárias a esta disciplina. Nesta altura o aluno já deve possuir os conhecimentos sobre estrutura de materiais, em especial na classe de cerâmicos e vidros, conceitos em termodinâmica, cinética química, diagramas de equilíbrio binário e ternário e fenómenos de transferência.

Assim o programa da unidade curricular Tecnologia dos Materiais Cerâmicos foi estruturado assumindo-se que os estudantes frequentaram com sucesso disciplinas que se encontram a montante no plano curricular em Engenharia de Materiais, nomeadamente *Materiais Cerâmicos e Vidros, Superfícies e Interfaces, Transformações de Fase, Cristalografia e Estrutura de Materiais, Termodinâmica Química, Fenómenos de Transferência*. Estas disciplinas apresentam-se como essenciais para a verdadeira compreensão dos fenómenos e princípios físicos/químicos abordados na unidade curricular Tecnologia de Materiais Cerâmicos. *Ensaio*

de *Caracterização de Materiais e Degradação e Protecção de Materiais* são unidades curriculares que complementam o conteúdo lectivo na área de Cerâmicos e Vidros.

Localizadas a jusante do mesmo plano curricular de Engenharia de Materiais, as disciplinas *Materiais para Electrónica e Optoelectrónica, Materiais Nanoestruturados e Nanotecnologias, Desenvolvimento Sustentável, Reciclagem e Valorização de Resíduos, Seminários sobre Inovação e Desenvolvimento Sustentável, Desenvolvimento de Produto e Empreendedorismo*, assim como *Projecto em Engenharia de Materiais*, permitem aplicar os conhecimentos adquiridos na disciplina Tecnologia dos Materiais Cerâmicos.

PLANO CURRICULAR

LICENCIATURA EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

LEMat

1º Ano, 1º Semestre	ECTS	1º Ano, 2º Semestre	ECTS
Desenho e Modelação Geométrica I	4.5	Química Orgânica	6.0
Introdução à Engenharia de Materiais	1.5	Mecânica e Ondas	6.0
Computação e Programação	6.0	Bioquímica e Biologia Molecular	6.0
Química	6.0	Cristalografia e Estrutura de Materiais	4.5
Álgebra Linear	6.0	Cálculo Diferencial e Integral II	7.5
Cálculo Diferencial e Integral I	6.0		
2º Ano, 1º Semestre	ECTS	2º Ano, 2º Semestre	ECTS
Ensaio e Caracterização de Materiais	6.0	Seminários de Engenharia de Materiais I	1.5
Análise Complexa e Eq Diferenciais	7.5	Gestão	4.5
Termodinâmica Química	6.0	Mecânica dos Materiais	6.0
Electromagnetismo e Óptica	6.0	Superfícies e Interfaces	6.0
Matemática Computacional	4.5	Transformações de Fase	6.0
		Probabilidades e Estatística	6.0
3º Ano, 1º Semestre	ECTS	3º Ano, 2º Semestre	ECTS
Materiais Biológicos	6.0	Engenharia de Células e Tecidos	6.0
Processos Extractivos	6.0	Seminários de Engenharia de Materiais II	1.5
Física dos Materiais	6.0	Materiais de Construção	6.0
Fenómenos de Transferência	6.0	Materiais Cerâmicos e Vidros	6.0
Materiais Poliméricos	6.0	Design e Seleção de Materiais	4.5
Propriedades Mecânicas dos Materiais	6.0	Degradação e Protecção de Materiais	6.0
		Materiais Metálicos	6.0

PLANO CURRICULAR

MESTRADO EM ENGENHARIA DE MATERIAIS

MMAT

1º Ano, 1º Semestre	ECTS	1º Ano, 2º Semestre	ECTS
Mat para Electrónica e Optoelectrónica	6.0	Reciclagem e Valorização de Resíduos	4.5
Tecnologia Mecânica	6.0	Tecnologia de Superfícies	4.5
Proc e Reciclagem de Polímeros	6.0	Processos de Ligação	6.0
Tecnologia de Materiais Cerâmicos	6.0	Materiais Compósitos	6.0
Tec de Fundição e Pulverometalurgia	6.0	Caracterização de Materiais	4.5
		Desenvolvimento Sustentável	4.5
		Biomateriais	4.5
2º Ano, 1º Semestre	ECTS	2º Ano, 2º Semestre	ECTS
Gestão da Qualidade	6.0	Dissertação em Eng Mat.	30.0
Projecto em Engenharia de Materiais	12.0		
Mat Nanoestruturados e Nanotecnologias	6.0		
Seminários Inov e Desenv Sustentável	6.0		
Modelação em Ciência de Materiais	6.0		
Desenvolvimento de Produto e Empreendedorismo	6.0		

Objectivos

O objectivo da disciplina de Tecnologia dos Materiais Cerâmicos é dar a conhecer aos alunos de mestrado de Engenharia de Materiais os fundamentos teóricos e práticos dos **materiais** e **processos** utilizados nas indústrias da cerâmica e do vidro e, sempre que possível, integrar uma **prática industrial**, ainda que de curta duração. Pretende-se que o futuro engenheiro ao **utilizar, seleccionar, ou projectar** um material cerâmico ou de vidro, ou quando **inserido numa unidade industrial** de cerâmica ou de vidro conheça:

- i) **matérias-primas**, suas propriedades e reologia;
- ii) **fluxograma** integral do processo para uma determinada peça cerâmica ou vítrea;
- iii) **princípios físicos/químicos** que a suportam e quais as **variáveis de processo** das operações unitárias seleccionadas.

Para os engenheiros que terão a oportunidade de vir a trabalhar em unidades industriais de cerâmica ou de vidro, é ainda importante que, quando em ambiente fabril, saibam:

- iv) **tomar decisões rápidas** perante erros, acidentes ou falhas na produção. Por exemplo, o aparecimento de defeitos numa peça (de cerâmica ou de vidro) exige uma actuação imediata por parte do engenheiro responsável pela linha, sobre operações unitárias a montante e/ou matérias-primas do processo.
- v) **pedir análises específicas** de produtos em linha e/ou de matérias-primas. Os alunos são treinados para estes propósitos.

O objectivo do programa da disciplina não pode, porém, deixar de ser enquadrado numa perspectiva mais global do mestrado em Engenharia de Materiais. Assim, o programa foi concebido e estruturado de forma a dar ao futuro engenheiro conhecimentos que lhe permitam integrar equipas de projecto e de selecção de materiais e intervir nas seguintes áreas:

- **Seleccção e/ou substituição** de materiais e peças
- **Caracterização e Certificação** de materiais processos
- **Optimização de propriedades** dos materiais
- **Optimização de processos** de fabrico e síntese
- **Desenvolvimento de novos materiais** com novas propriedades e desempenho
- **Concepção e desenvolvimento** de novas operações unitárias

Justificação do Programa

Algumas notas sobre a História da Cerâmica e do Vidro em Portugal

Do séc. XV à revolução industrial

A produção **cerâmica portuguesa** ocupou sempre uma posição de relevo entre as manufacturas locais, dando origem um número muito elevado de pequenas olarias, de estrutura familiar. Apesar de se conhecer pouco acerca das características formais, estéticas e técnicas da produção cerâmica nos períodos que antecederam o séc. XIX, não existem dúvidas quanto à existência de inúmeros centros produtores cerâmicos a partir de finais do **séc. XV**. De entre as obras de olaria portuguesa mais significativas desse período destacam-se peças decoradas com aplicações moldadas, cordões e incisões, aplicadas sobre vidrados escorridos, em melado e branco pingado de verde. Os artesãos criaram um estilo próprio de inspiração na decoração tricolor da cerâmica chinesa da dinastia Tang (séc. VII a X) e em algumas produções mesopotâmicas do séc. IX (Fig. 5) [4]. A influência desta técnica, e estética, foi irradiada através das civilizações árabes e atingiu os centros de produção cerâmica em quase toda a Europa medieval.

Fig. 5 Peças cerâmicas atribuídas à Cerâmica de Santo António, Vale da Piedade (séc. XV-XVI), manufactura e pintura manual (Museu Soares dos Reis, Porto) [4]



A azulejaria é outro dos reflexos das civilizações islâmicas em Portugal. A partir do **séc. XV** o **azulejo**, concebido com motivo ou padrão, irradia pela Europa como elemento mural decorativo. Mas é na arquitectura portuguesa que atinge o expoente máximo, pela singular integração na peça arquitectónica de painéis paisagísticos e/ou figurativos (Figs. 6 e 7) [5]. Várias oficinas de azulejo, distribuídas pelo país, terão fabricado o património que chegou aos nossos dias.

Fig. 6 Paineis murais de motivo (a) e (b) e figurativo (c), Palácio da Pena, Sintra, manufactura e pintura manual [5]

(a)

(b)



(c)

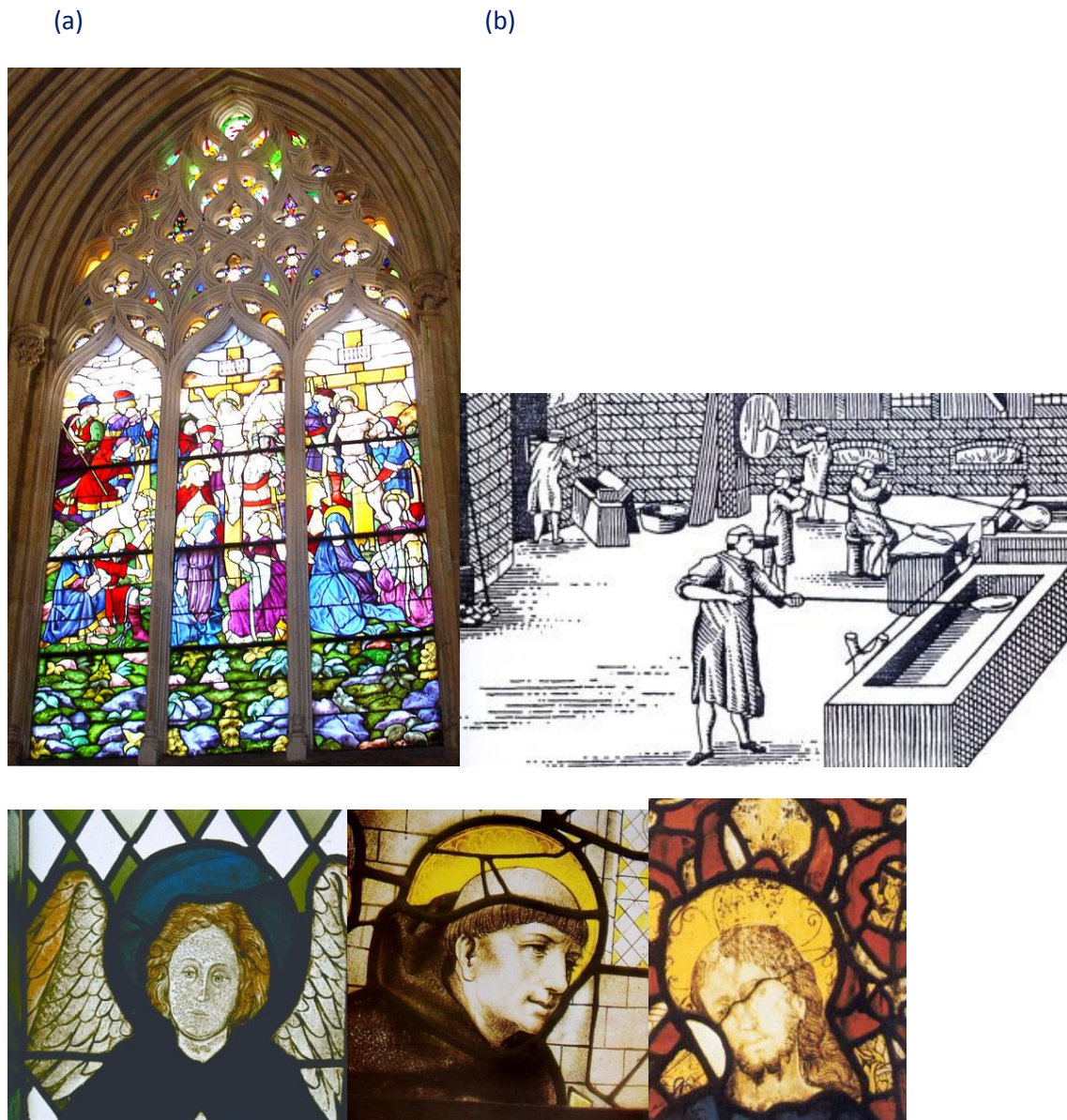


Fig. 7 Painéis murais paisagísticos, Museu do Azulejo, Lisboa, manufactura e pintura manual



A **manufactura do vidro** em Portugal está escassamente documentada. O registo mais antigo, datado de **1439**, reporta à carta de privilégio passada a um vidreiro de Palmela. Ao mesmo tempo inicia-se o programa de vitrais do Mosteiro de Santa Maria da Vitória e promove-se o centro do vitral na Batalha – é instalado um pequeno forno de vidro e chamam-se vários vidreiros alemães e italianos (Fig. 8) [6].

Fig. 8 Vitrais do Mosteiro Santa Maria da Vitória, Batalha (a), ilustração de fabrico manual medieval de vidro (b) [6]



Em **1484** é concedida autorização para a instalação de um forno de vidro no Côvo, e outorgado ao seu dono o poder de autorizar novas unidades de produção vidreira. Em **1498** inicia-se a manufactura de vidro em Coima [7].

Embora tenham sido vários os centros vidreiros do país – Côvo, Palmela, Alcochete, Asseiceira, Salvaterra de Magos, Lisboa, Coima e Marinha Grande é dos dois últimos o maior espólio nacional de vidro manufacturado deste período (Fig. 9). Não obstante a presença de artistas estrangeiros e dos nacionais já estabelecidos, a produção de vidro branco, cristal, verde, vidraças e espelhos terá sido, porém, modesta, em qualidade e quantidade, permanecendo a prática de importação dos grandes mercados europeus de vidro como Veneza, Boémia, Alemanha e França [8].



Fig. 9 Vidros manufacturados na Marinha Grande ou Coima (Museu Soares dos Reis, Porto), vidro soprado com cana

A revolução industrial

No **final do séc. XVIII** assiste-se ao primeiro impulso de **industrialização**. A importação de produtos europeus, que se tinha acentuado a partir de 1640, resultado dos tratados comerciais firmados com a França, a Holanda e a Inglaterra, deixam o país numa difícil situação comercial e monetária, em especial quando o ouro do Brasil começa a falhar. As políticas proteccionistas e de industrialização do país implementadas por Pombal visam equilibrar a balança de pagamentos externa e reorganizar e modernizar o sistema produtivo nacional. A par com a instalação de grandes unidades produtivas, centralizadas e bem organizadas, para as

quais se importam protocolos de fabrico e se convidam técnicos estrangeiros, produz-se legislação interna que proíbe o uso de artigos de luxo, como porcelanas e vidro importados. Para além de proteccionista, a política pombalina concede licenças de produção à margem das corporações [8].

No período pombalino as novas manufacturas localizam-se em zonas com tradição produtiva, ainda que doméstica ou oficial. Para o fabrico de vidro, **Coina (1722)** é o lugar seleccionado, pela proximidade de matérias-primas (zonas de areias quartzíticas e caulíferas) e de combustível (pinhais), mas certamente pela existência de uma tradição vidreira na região. Da Real Fábrica de Coina salienta-se a área de implementação (4000 m²), a elevada capacidade produtiva (3 fornos de fusão), a natureza e originalidade dos produtos soprados (frascaria comum e de laboratório, garrafaria incluindo garrafas do tipo inglês para Vinho do Porto) e vidro plano (pelo processo francês de moldagem em mesa) e a qualificação da mão-de-obra (compreendendo especialistas italianos, finlandeses, irlandeses, venezianos e alemães) (Fig. 10). Os produtos da Real Fábrica de Coina chegam ao Brasil, a Espanha, e à China, onde competem com a vidraria inglesa. Em **1747** a Real Fábrica de Coina é transferida para a Marinha Grande, sob a direcção do irlandês Beare, e passa a designar-se por Real Fábrica de Vidros da Marinha Grande (Fig. 10). O seu grande desenvolvimento esteve, porém, nas mãos do inglês Guilherme Stephen, sendo Portugal o primeiro país a produzir vidro cristal (logo a seguir à Inglaterra) [8]. A reconstrução de Lisboa, após o terramoto de 1755, terá tido um papel determinante no desenvolvimento dos sectores industriais do vidro e da cerâmica [8].

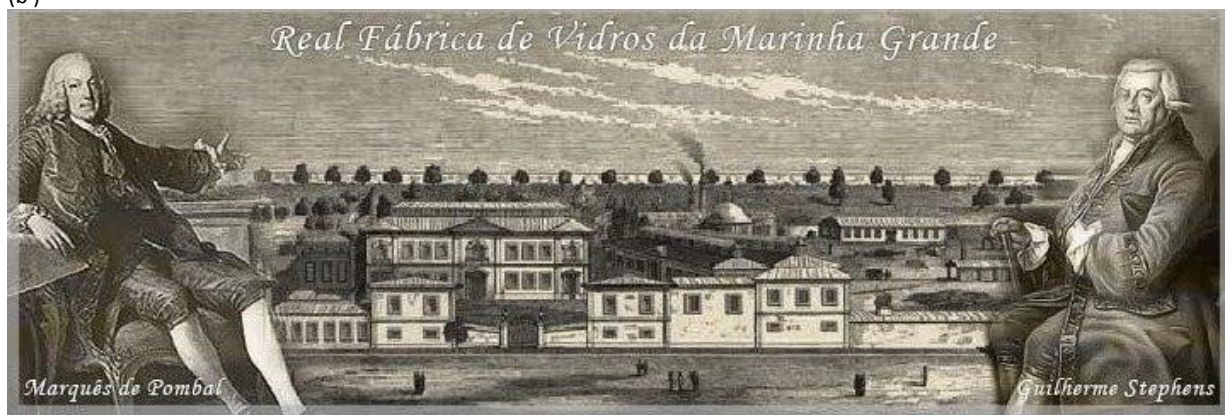
Mas é só em **1777**, com a introdução de novas tecnologias importadas da Inglaterra e aplicadas a sectores como o da cerâmica e do vidro, que se inicia verdadeiramente a revolução industrial no país. Nas últimas décadas do século XVIII seriam cerca de 25 as fábricas de faiança em laboração um pouco por todo o país. Em Lisboa destacamos a Bica do Sapato (1796), a Real Fábrica de Louça ao Rato (1767-1835) (Fig. 11) e a Fábrica do Juncal (1770); no Porto, fundadas a partir de 1764, localizam-se as maiores unidades industriais da época - Massarelos, Miragaia, Sto António do Vale da Piedade e Cavaquinho (Fig. 12), e em Coimbra, Briosa e Vandelli (1784), considera a melhor fábrica de faiança do país. A *louça ratinha* (Fig. 13), a linha mais pobre da produção, da zona de Coimbra, deve o seu nome à alcunha posta aos trabalhadores das Beiras, seus grandes consumidores, que sazonalmente se deslocavam para o Ribatejo e Alentejo. Fábricas de cerâmicos estruturais distribuem-se igualmente pelo país (Fig. 10).

Fig. 10 Real Fábrica de Vidros de Coima, parque arqueológico (a), Real Fábrica de Vidros da Marinha Grande, gravura séc. XVIII (b), Fábrica Campos, Aveiro (c)

(a) <http://www.loc.gov/pictures/resource/nclc.01151/>



(b)



(c)



Fig. 11 Faiança portuguesa da Real Fábrica de Louça ao Rato, Lisboa (1767-1835), manufactura e pintura manual (a)
 Marcas de produção das fábricas Real Fábrica de Louça ao Rato e Bica do Sapato (b), Lisboa

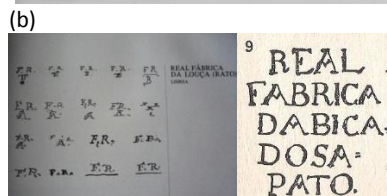


Fig. 12 Faiança portuguesa das fábricas de Miragaia (a), Massarelos (b), Bandeira (c) Sto António do Vale da Piedade (d) e Cavaquinho (e), Porto, manufactura e pintura manual



Fig. 13 Louça ratinha, Coimbra, manufactura e pintura manual



A descoberta de caulino em território nacional vai promover a produção de porcelana. Curiosamente, o caulino português é descoberto por um metalúrgico (Bartolomeu da Costa, autor da estátua equestre de D. José, Praça do Comércio) a quem são também atribuídos os primeiros trabalhos em porcelana [9] (Fig. 14). A descoberta terá resultado da tentativa de formulação de novas pastas cerâmicas para o fabrico de refractários para fornos de fundição metálica.

Fig. 14 Primeiras peças de porcelana fabricadas em Portugal por Bartolomeu da Costa, metalúrgico [9]



Em **1824**, o liberal José Ferreira Pinto Basto funda a Real Fábrica da Vista Alegre, inicialmente dedicada ao fabrico de vidro cristal (período de 1824 a 1880) (Fig. 15). Mas é na porcelana que a fábrica adquirirá notoriedade mundial (Figs. 16, 17). Com esta fábrica introduz-se também em Portugal um novo conceito de unidade fabril, que integra um bairro operário e escola para operários e seus filhos.

Fig. 15 Primeiras peças de vidro cristal fabricadas na Real Fábrica da Vista Alegre (a), por sopro (b)
(a)



(b)



Fig. 16 Cartaz comemorativo do primeiro centenário da Fábrica Vista Alegre



CARTAZ comemorativo dos 100 anos da fábrica
Desenho aguarelado, c. 1924, dentro da gramática art déco
Museu da Fábrica da Vista Alegre.
In: Vista Alegre: Porcelanas. [Lisboa]: Inapa, 1989

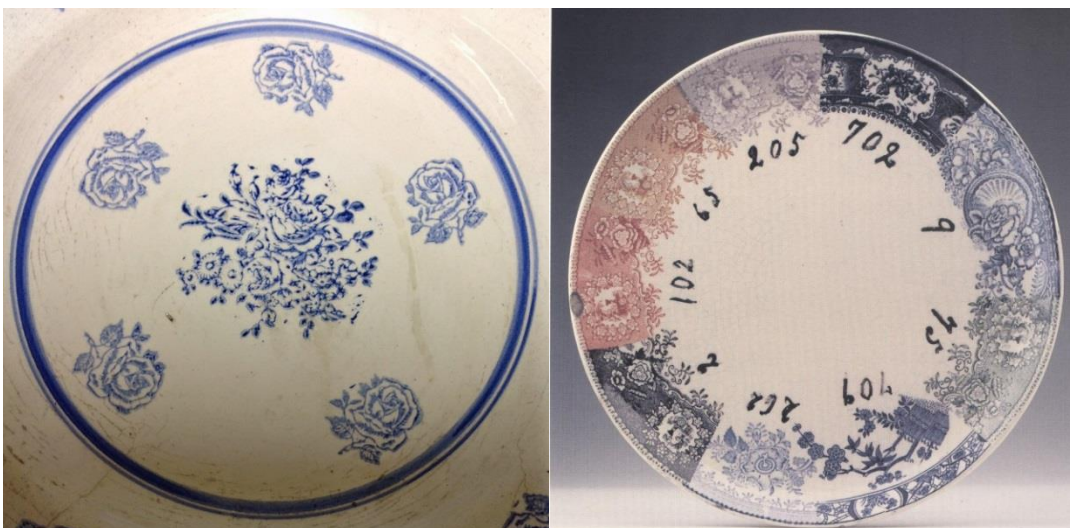
Fig. 17 Peça produzida por vazamento de suspensão, Fábrica Vista Alegre. *Design* sob licença



Do séc. XIX aos nossos dias

O século XIX acompanha, em Portugal, a industrialização europeia (Figs. 18 e 19). A produção industrial é maior, mais diversificada, com aplicações tecnológicas mais desenvolvidas, e dispõe de espaços de mercado mais alargados. Assiste-se ao nascimento da cerâmica de autor, da faiança artística e à padronização (primeiro por estampilhagem e, mais tarde, por estampagem) do azulejo industrial (Figura 20). Fábrica de Louça de Sacavém, Fábrica de Cerâmica Viúva Lamego, Fábrica Sant'Anna, Fábrica Constância, são algumas dessas unidades fabris (Fig. 21). Importantes centros de cerâmica afirmam-se também nas regiões de Alcobaca e Caldas da Rainha, de que realçamos a Fábrica de Faianças das Caldas da Rainha, fundada em 1884, sob a direcção artística de Raphael Bordallo Pinheiro (Fig. 22).

Fig. 20 Estampilha (a, b, c) e estamparia (d) da Fábrica de Louça de Sacavém [10]



(c)

(d)

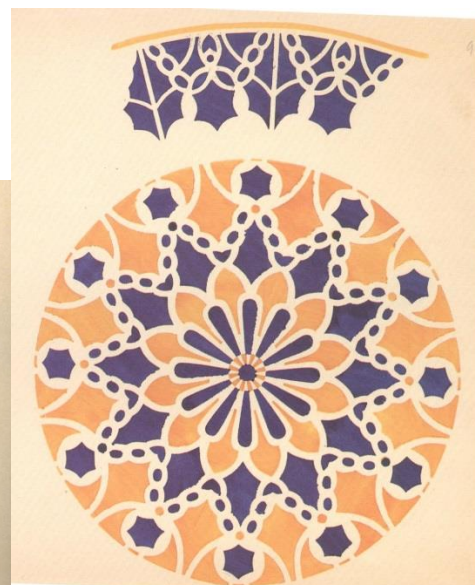


Fig. 18 A indústria cerâmica no início do séc. XIX, Inglaterra (a) e séc. XX (anos 40), Fábrica de Louça de Sacavém, Lisboa [10](b)



<http://www.lowtechmagazine.com/2013/03/the-mechanical-transmission-of-power-3-wire-ropes.html>



Fig. 19 A indústria do vidro nos finais do séc. XIX, USA

<https://sha.org/bottle/mouthblowndating.htm>

<http://www.loc.gov/pictures/resource/nclc.01151/> lousiana midnight



Fig. 21 Fábricas de cerâmica do séc. XIX, em Lisboa (a). Azulejo industrial em relevo séc. XIX (b).



(b)



Alguns padrões de azulejos e cercaduras em relevo

Fig. 22 Azulejo de autor e outras peças cerâmicas, Rafael Bordallo Pinheiro (Fábrica Faiença das Caldas da Rainha)



A Arte Nova esteve também representada na azulejaria nacional, a partir do primeiro quartel do séc. XX (Fig. 23).

Fig. 23 Arte Nova no azulejo, Aveiro



A Real Fábrica de Vidros da Marinha Grande vê os seus produtos premiados na Exposição Internacional do Porto, em **1865**, e na Exposição Universal de Paris, em **1867**. Este sucesso impulsiona a criação de novas unidades fabris de vidro utilitário, decorativo e vidraça, de que se destacam as Fábrica de Vidros Santos Barosa & C^a Lda (de José Manuel Barosa, 1889), hoje Santos Barosa S.A., Ricardo dos Santos Gallo (1999), hoje Vidralla-Gallo e Fábrica de Dâmaso Luiz dos Santos (1913, encerrada recentemente).

Para o fabrico de vidro de embalagem surgem as unidades Fábrica de Vidros M. Morais & C^a (1916) e Sociedade Vidreira Marinhense (1919), para vidro de laboratório a Fábrica Portuguesa de Vidro Neutro (Fábrica Morais Matias Lda) (1926), Roldão & Garcia Lda (1943) e Fábrica de Francisco Oliveira (Fábrica do Mona) (1943). A Sociedade Vidreira Lusitana (1920) dedica-se a cristalaria para lustres e candeeiros; a Fábrica de Vidros Crisal – Cristais de Alcobaça (1945), a vidro de mesa; e Atlantis e Jasmim, ao vidro cristal.

À época a fábrica do Covo é dividida em duas novas empresas - A Vidreira (1897) e A Boémia (1902) - que acabarão por se re-fundir no Centro Vidreiro do Norte de Portugal (1926-1990).

Em Lisboa, a Fábrica das Gaivotas mantém a laboração até 1975-76, produzindo frascaria para farmácia, lustres em meio cristal, pendentos de lágrimas, entre outras peças.

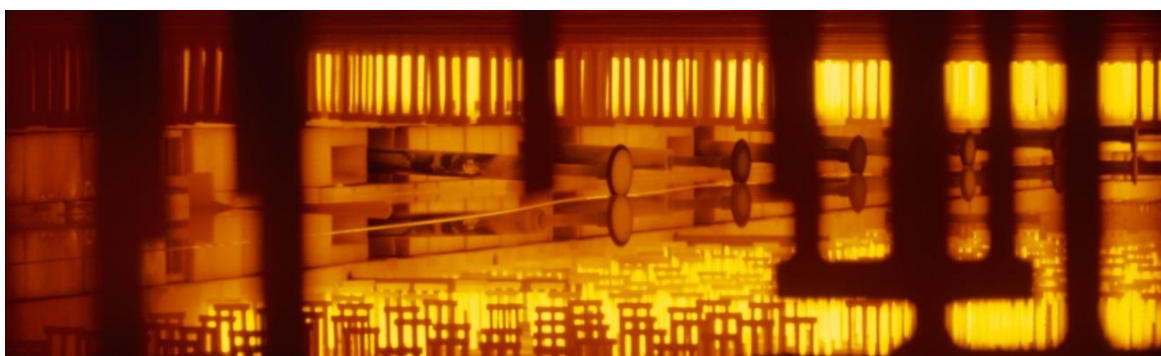
Em 1936 o Estado Novo decide centralizar e modernizar o sector do vidro plano, para o que concentra os alvarás de produção de chapa de vidro em apenas duas unidades fabris - Centro Vidreiro do Norte de Portugal (Oliveira de Azeméis) e Covina-Companhia Vidreira Nacional (Stª Iria de Azóia). Em Lisboa, a Covina nasce da reunião de 7 dessas pequenas unidades produtivas, sendo responsável por 59% da produção nacional (Fig. 24). No primeiro ano de laboração a Covina produz 4.000 toneladas de chapa, passando a 30.000 ton em 1960, ao mesmo tempo que diversifica a sua produção (chapa fosca, polida, inestilhaçável, prensada, temperada e isolada; mosaicos de vidro; fibras de vidro; frascos, ampolas e vários materiais para fins farmacêuticos). Em 1962 ocorre a primeira injeção de capital estrangeiro (Saint Gobain, com uma participação de 20% do capital da empresa), alargando os mercados de exportação e iniciando a produção de vidro automóvel (em 1996 nasce *branch* Saint-Gobain Sekurit). Em 1986, 50 anos após a sua fundação, a Covina inaugura uma linha em chapa de vidro pelo processo de flutuação (*float*) (Fig. 25). Na década de 90 a empresa é integralmente comprada pelo grupo Saint-Gobain que, alterando a sua estratégia de desenvolvimento, a encerrará em 2009.

Fig. 24 Covina nos anos 50. Polimento de chapa de vidro

<http://restosdecoleccion.blogspot.pt/2011/12/covina-companhia-vidreira-nacional.html>



Fig.25 Saint Gobain Portugal nos anos 90. Linha *float*



A perda do mercado colonial, em 74, conduz as empresas na procura de novos mercados. O mercado europeu, extremamente atractivo pela dimensão, poder de compra e proximidade, é no entanto, um mercado imensamente competitivo e detentor de níveis de industrialização muito superiores ao nacional. A **entrada na CEE** em Janeiro 1986 obriga à modernização dos sectores nacionais da cerâmica e do vidro, quer ao nível das linhas produtivas quer ao nível do produto, nos vectores qualidade e *design*.

Hoje Portugal exporta vidro e cerâmica para mercados tão exigentes como o norte-europeu, o norte-americano, ou o asiático (permanecendo os maiores importadores a Espanha, a França e a Alemanha). Após vários ciclos recessivos nacionais e europeus, as unidades fabris nacionais encontram-se equipadas com a maquinaria mais recente no sector, dominam as últimas tecnologias sendo detentoras de várias patentes de processo e produto, compreendem quadros muito qualificados, reúnem uma carteira de clientes e um número de encomendas que lhes permite olhar o futuro com optimismo (Fig. 26). Portugal é uma referência na produção de vidro de embalagem detendo uma das únicas fábricas no mundo a produzir vidro âmbar.

Fig. 26 Fabrico automático de vidro de embalagem: máquinas IS soprado-soprado (a) e (b)
(a)

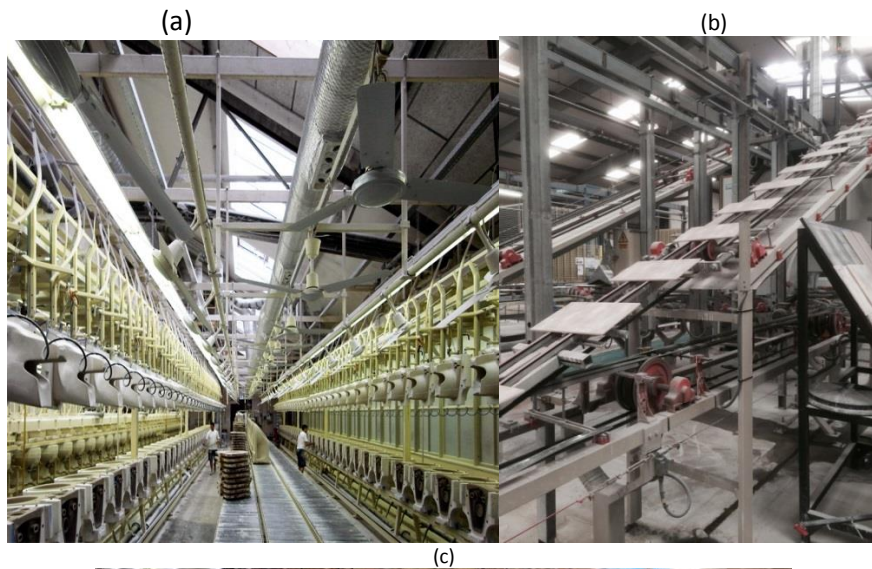


(b)



No âmbito da indústria cerâmica Portugal é uma referência europeia na produção de revestimentos e de porcelana (Fig. 27). Em termos de peças decorativas Portugal tem um lugar de destaque na porcelana e no vidro cristal, muito devendo-o à Vista Alegre (hoje VA Atlantis Bordallo Pinheiro), a produzir continuamente desde a sua fundação.

Fig. 27 Fabrico automático de sanitários (a) e revestimentos (b); forno (c)



Matérias-primas da Cerâmica e do Vidro

Os sectores da Cerâmica e do Vidro encontram-se na *mesma cadeia de valor* – partilham a montante e a jusante do processo fabril os mesmos actores, i.e., fornecedores de matérias-primas e cliente final - em particular nos sectores produtivos mais tradicionais como a construção e arquitectura, e a hotelaria/restauração/doméstico.



Vidro embalagem

O vidro tem vindo a resgatar um papel privilegiado como material de embalagem, nos mercados europeu e mundial, pela sua capacidade singular de reciclagem total, estando a ser direccionados esforços para actividades de reciclagem e de economia energética dos processos produtivos.



Cristalaria

Portugal sofreu com os ciclos recessivos da economia ocidental agravada pelo encerramento do mercado norte-americano ao vidro cristal de chumbo. Inúmeras pequenas vidreiras nacionais e europeias fecharam portas nos últimos anos. A retoma do mercado europeu tem sido lenta. Sector galardoado com vários prémios de *design*.



Vidro plano

A unidade SEKURIT do grupo Saint-Gobain continua a operar em Portugal, embora com chapa de vidro produzida em Espanha.



Revestimento

A produzir no limite da capacidade produtiva instalada, o sector do revestimento cerâmico compete nos mais exigentes mercados internacionais com produtos diferenciados. Galardoado com vários prémios internacionais de *design*.



Porcelana

Galardoado com vários prémios internacionais de *design* a (quase) bicentenário fábrica VA Atlantis é uma referência nacional e mundial.



Faiança

A faiança portuguesa tem-se afirmado no mercado internacional, galardoada com prémios de *design* internacionais.



Sanitários

Sector recentemente reestruturado, dispõe hoje de capacidade produtiva de última geração. A unidade espanhola Roca tem sido reconhecida internacionalmente como líder no segmento produtivo, galardoada com vários prémios internacionais de *design*.



Cerâmica Técnica

A única unidade em cerâmica técnica no país pertence ao grupo Rauschert.



Centros Tecnológicos

Associações Industriais



Museus

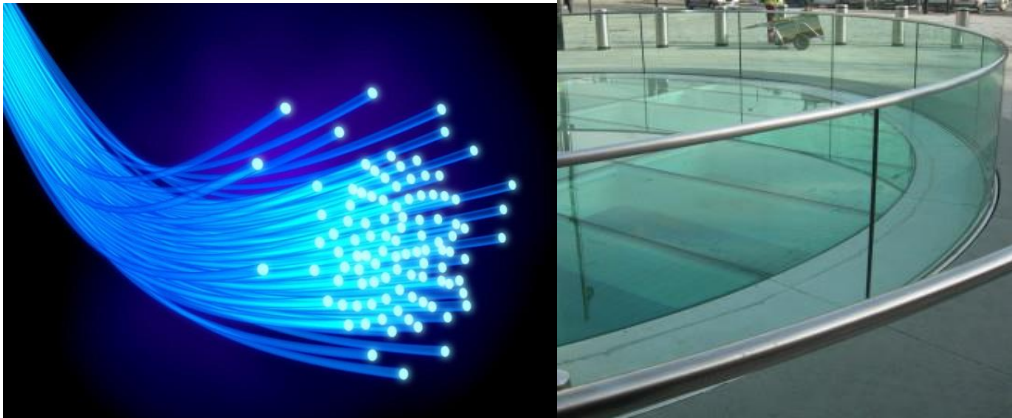


Vários produtos/componentes integram hoje cerâmicos e vidros (ou materiais amorfos) de forma não tradicional. Para nomear apenas alguns, destacamos a indústria farmacêutica, medicina, medicina dentária, cosmética, tintas, verniz e têxtil técnico. Em todos estes sectores a cerâmica e o vidro têm um papel de relevo a desempenhar (Figs. 28, 29).

Em Portugal são poucas as empresas de elevado investimento em I&D, existindo já *startups* que englobam saber em cerâmicos e vidros. A cooperação entre empresas e entidades do sistema de I&D, facilitará a transferência tecnológica, de que beneficiará a cadeia de valor gerado para a economia, e determinará, em último lugar, a projecção nacional e internacional das empresas.

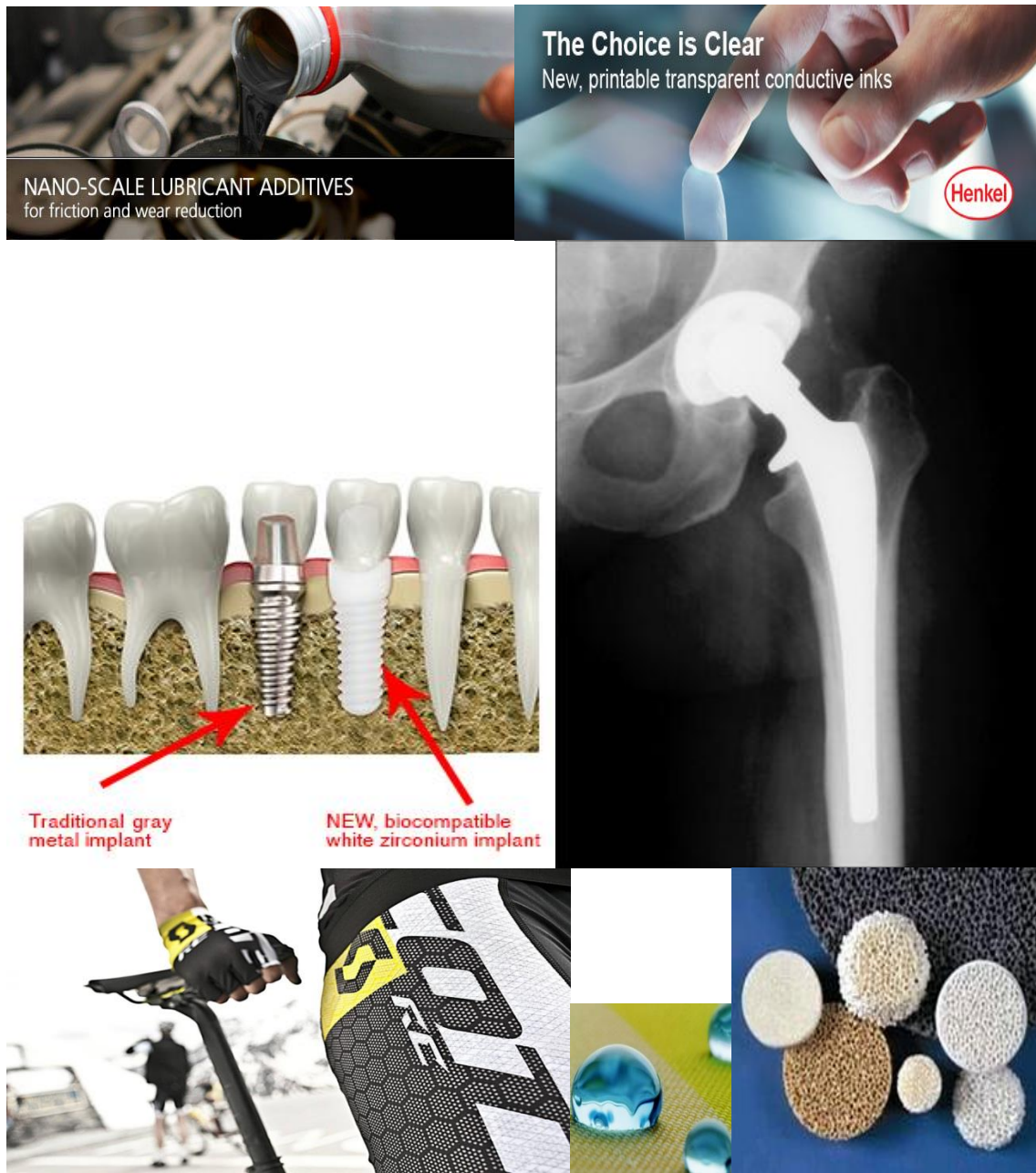
Nota: Ao longo do texto faz-se referência a várias unidades produtivas dos sectores da Cerâmica e do Vidro. A enumeração não é, porém, exaustiva, assinalando apenas as unidades de maior destaque pela qualidade do produto e pela posição no mercado internacional.

Fig. 28 Vidros especiais



 essilor	 HOYA Precision optical lenses	 Nikon
 ZEISS	 Transitions® Healthy sight in every light™	 RODENSTOCK
 AGC Glass Alliance Europe GLASS UNLIMITED	 SAINT-GOBAIN GLASS	 GlassFibre Europe APFE - European Glass Fibre Producers Association
		 SCHOTT ROBAX®
		 FEVE The European Container Glass Federation

Fig. 29 Cerâmicos técnicos e incorporação de pós cerâmicos



Referências

- [4] Itineraty of Faience of Oporto and Gaia, Museu Nacional de Soares dos Reis, 2002
ISBN 972-776-106-2
- [5] O Revestimento Cerâmico na Arquitectura em Portugal, RS Calado, AC Mangucci, LF Pinto, P Ferreira, Estar Editora, 1998
ISBN 972-8095-45-7
- [6] O Mosteiro da Batalha e o Vitral em Portugal nos séculos XV e XVI, Pedro Redol, Câmara Municipal da Batalha, 2003
ISBN 972-95122-5-6
- [7] Jornal final séc. XIX
<http://educa.fc.up.pt/ficheiros/fichas/1079/Hist%F3ria%20do%20vidro.pdf>
- [8] História de Portugal, Direcção José Mattoso, Círculo dos Leitores, 4ª V (1993)
ISBN 972-42-0715-3
- [9] Revista *Vista Alegre*, nº8 Set 1998
- [10] Fábrica de Louça de Sacavém, Ana Paula Assunção, Ed. Inapa
ISBN 972-8387-19-9
- [11] Fábrica de Faianças das Caldas da Rainha, Isabel Maria Fernandes, Elsa Rebelo, Civilização
ISBN 978-972-26-2411-4

Tecnologia da Cerâmica e do Vidro noutras Universidades

A concepção desta disciplina usufruiu de forte contributo de disciplinas homólogas noutras universidades, de que destaco a Universidade de Aveiro (Departamento de Cerâmico e Vidro) e a Technische Universität Clausthal (Physics, Chemistry, Metallurgy and Materials Science), com quem a autora tem colaboração.

Vários outros programas noutras universidades foram, no entanto, analisados, destacando-se os referidos na Tabela 1.

Tabela 1 Algumas Universidades com programas em Tecnologia de Cerâmicos e Vidros

PAÍS	UNIVERSIDADE	CURSO
Inglaterra 1º The World Top 20 Education Poll 2016	Imperial College of London Faculty of Engineering – Materials (8º QS World University Rankings)	MSc Advanced Materials Science and Engineering Advanced structural ceramics <ul style="list-style-type: none"> • Ceramics and glasses • Electroceramics • Advanced biomaterials Centro investigação cerâmicos http://www.imperial.ac.uk/structural-ceramics
	Sheffield University Department of Materials Science and Engineering (80º QS World University Rankings)	Especialização em Vidro http://www.glass-ts.com/ Especialização em Cerâmicos Funcionais http://www.sheffield.ac.uk/materials/research/ceramicsgroup Estágios industriais http://www.sheffield.ac.uk/materials/undergraduates/itp
Alemanha 7º The World Top 20 Education Poll 2016	Nuremberg University Department of Materials Science and Engineering	http://www.tf.fau.eu/research/research-at-the-departments/departament-of-materials-science-and-engineering.shtml Elite Master's Programme in Asdvanced Materials and processes (MAP) HTTP://WWW.ELITE-MAP.TECHFAK.UNI-ERLANGEN.DE
USA 11º The World Top 20 Education Poll 2016	MIT Department of Materials Science and Engineering 1º QS World University Rankings 2º Global Universities Ranking	Materials Processing http://ocw.mit.edu/courses/materials-science-and-engineering/3-044-materials-processing-spring-2013/

Estrutura do Programa

A disciplina de Tecnologia de Materiais Cerâmicos inicia-se por um capítulo comum de **Matérias-primas I**, onde se descrevem, de forma pormenorizada, as matérias-primas utilizadas nos sectores da Cerâmica e do Vidro. Uma vez que os cerâmicos e os vidros partilham muitas das matérias-primas, opta-se por um capítulo inicial comum aos dois ramos da disciplina (em CD apresenta-se o material de apoio a esta UC).

Avançando pela Tecnologia de Materiais Cerâmicos, segue-se um capítulo de **Pós Cerâmicos Especiais**, onde a par com questões termodinâmicas e cinéticas de formação de pós, são abordados os métodos mais usuais para o desenho, fabrico e caracterização de pós e nanopartículas cerâmicas. O **Comportamento Reológico de Suspensões e Pastas Cerâmicas** é a próxima etapa, ficando os alunos nesta altura com os conhecimentos que lhes permitirão prosseguir para as operações unitárias de **Enformação, Secagem, Sinterização e Acabamento Final**.

Relativamente à Tecnologia dos Materiais Vítreos, e após o capítulo comum de **Matérias-primas I**, sucede um capítulo específico de **Matérias Primas II**, seguido de **Estrutura Vítreo**, onde os conceitos de formação de rede vítrea e o papel estrutural dos vários constituintes são revisitados e desenvolvidos. A selecção de composições facilmente vitrificáveis é explicada, passando-se para os processos reaccionais no forno **Fusão Vítreo**, capítulo onde se inicia a formação do vidro. A jusante da Fusão Vítreo, seguem-se os processos de **Enformação e Moldagem** (vidro plano, vidro oco), **Recozimento e Têmpera**, e **Defeitos em Vidros**. O fabrico de **Vidros Especiais** é também abordado.

Programa

Tecnologia de Materiais Cerâmicos

1. MATÉRIAS-PRIMAS I

Principais matérias-primas no fabrico dos cerâmicos tradicionais e dos cerâmicos técnicos
Minerais de argila - estrutura e propriedades
Processos de fabrico de Al_2O_3 , SiC, MgO, Si_3N_4
Aditivos do processamento cerâmico: desfloculantes; coagulantes; agentes superficialmente activos

2. PÓS CERÂMICOS ESPECIAIS

Obtenção de pós por técnicas de precipitação, sol-gel e de reacção em fase gasosa
Métodos industriais de preparação de Pós Cerâmicos
Tamanho e forma das partículas
Densidade, estrutura de poros e área superficial específica

3. COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE SUSPENSÕES E DE PASTAS CERÂMICAS

O sistema argila / água: plasticidade, coesão da pasta, compactação, comportamento térmico, permuta catiónica
Propriedades de suspensão coloidal de sistemas cerâmicos
Modelo da dupla camada eléctrica (Debye-Huckel); teoria DLVO da estabilidade coloidal
Reologia de suspensões (comportamento Newtoniano, pseudo-plástico, dilatante, plástico e escoamento com pontos de cedência)
Modelos empíricos para a reologia de suspensões cerâmicas

4. PROCESSOS DE ENFORMAÇÃO DE CERÂMICOS

Via seca: Atomização e Prensagem - variáveis do processo, escoamento de pós, enchimento de moldes, efeito do atrito nas paredes, controlo de defeitos
Via húmida: Vazamento de suspensão - mecanismo e comportamento do derrame em molde permeável. Controlo de defeitos

5. SECAGEM

Modelos de secagem
O processo de secagem - controlo de defeitos

6. SINTERIZAÇÃO

Modelos de sinterização. Prensagem a quente
O processo de sinterização – fornos e controlo de defeitos

7. ACABAMENTO SUPERFICIAL*

Vidrados
Pintura, estampagem e serigrafia
Controlo de qualidade

* Capítulo não leccionado em aula

Tecnologia de Vidros

1. MATÉRIAS-PRIMAS II

Papel estrutural dos vários componentes do vidro: vitrificantes, fundentes e estabilizantes
Principais matérias primas para o fabrico de vidros comerciais e especiais
Principais matérias primas naturais: areias e carbonatos
Utilização de vidro reciclado: casco
Cálculo de composições e de cargas

2. ESTRUTURA VÍTREA

Estrutura
Propriedades

3. FABRICO DE VIDROS POR FUSÃO

Fusão vítrea: *batch-free time*
Sistemas $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$, $\text{SiO}_2\text{-CaO}$ e $\text{SiO}_2\text{-CaO-Na}_2\text{O}$
Equilíbrios redox em fundidos vítreos: cor e afinagem
Homogeneização do fundido
Fornos de fusão e sua eficiência energética

4. ENFORMAÇÃO E MOLDAGEM DE VIDROS

Fabrico de vidro plano: sistemas Colburn-Libbey, Fourcault, Pittsburgh e *float*
Fabrico de vidro oco: sopragem manual; alimentação automática por gota: soprado-soprado e prensado-soprado. Máquinas IS.
Fibras curtas e fibras longas
Fibras ópticas

5. FABRICO DE VIDROS ESPECIAIS

Vidro para arquitectura e automóvel: laminado; temperado
Vidro para mostradores (*displays*) e vidros com permuta iónica (vidro *gorilla*)
Vidro óptico
Vidros e filmes finos por sol-gel e deposição em fase de vapor (CVD, PVD)
Vidros cerâmicos
Bio-vidros

6. RECOZIMENTO E TÊMPERA

Formação de tensões internas. Anisotropia e birrefringência. Recozimento e relaxação de tensões residuais
Têmpera térmica
Têmpera química

7. DEFEITOS EM VIDROS

Inclusões cristalinas: impurezas refractárias ou *pedras* e desvitrificação
Inclusões gasosas: *sementes* e bolhas
Heterogeneidades: *cordas* e estrias
Controlo de qualidade

Conteúdo Programático

Tecnologia de Materiais Cerâmicos

O processamento cerâmico pode desenvolver-se por via seca ou por via húmida. Dentro de cada uma destas vias, um largo conjunto de opções podem ser tomadas, relativamente ao tratamento de matérias-primas, e às operações unitárias como enformação, secagem, acabamento final ou sinterização. Para a leccionação de uma disciplina semestral onde se pretende incluir **tecnologia de cerâmicos** e **tecnologia de vidros**, não é possível abordar todos as operações unitárias de ambos os processos produtivos, pelo que a autora optou, desde o início da disciplina, por seleccionar algumas das operações unitárias mais representativas no fabrico de cerâmicos, tendo o cuidado de seguir e concluir as linhas processuais seleccionadas.

Relativamente ao fabrico de vidros são abordados técnicas industriais de fabrico de vidro oco, vidro plano e ainda algumas técnicas não tradicionais de fabrico de vidros especiais.

No âmbito desta disciplina não é dado ao aluno a possibilidade de estudar exaustivamente toda a tecnologia envolvida nestes sectores. Mas os conceitos científicos/técnicos fundamentais, as características mineralógicas e estruturais da matérias-primas assim como a sua reologia, e as operações unitárias seleccionadas são alvo de estudo aprofundado.

Não dispondo o DEQ nem o IST de instalações piloto que permitam demonstrar a actividade industrial do sector, adoptou-se pela prática de visitas a unidades fabris. Nos primeiros anos de leccionação da disciplina aos alunos foi dada a oportunidade de realizar estágios de curta duração, em ambiente fabril (2-5 dias até 1-2 semanas). Desses estágios resultaram carreiras internacionais para alguns deles - Marco Azinheira foi o primeiro desses alunos, ainda hoje quadro superior da Saint-Gobain Glass. Porém, a recessão que os sectores do vidro e da cerâmica atravessaram nos últimos anos em Portugal, com fábricas em situação de *lay-off* (Rauschert, Saint-Gobain Portugal), fornos parados a aguardar reparação (que acabaram por terminar no encerramento da unidade produtiva - Saint-Gobain Portugal, St Iria Azóia), redução de produção diária (com fecho de linhas em várias empresas cerâmicas do subsector de revestimentos), a *mudança de mãos* (Sotancro, Crisal, Vidreira do Mondego, Ricardo Gallo, Atlantis, NovaGrés, ...) aliada ao fecho de muitas pequenas e médias unidades produtivas nacionais acabou por inviabilizar estes estágios fabris de curta duração. Acresce ainda a localização regional (norte e centro/norte do país) destes sectores industriais, factor que limita a realização de estágios pelos alunos do IST.

O programa seleccionado pretende ser claro, sucinto e aprofundado nos tópicos abordados. A autora optou por seleccionar operações unitárias mais representativas, e realizar um estudo aprofundado de equipamento, princípios físicos e variáveis processuais. A autora prefere esta opção a uma abordagem mais exaustiva porém menos profunda, onde se apresentariam exaustivamente todas as operações unitárias do processamento cerâmico, mas sem o aprofundamento necessário a um futuro engenheiro que venha a laborar numa área industrial do sector.

Tecnologia de Materiais Cerâmicos

CAPÍTULO 1 - MATÉRIAS PRIMAS I

O estudo do processamento cerâmico exige um conhecimento aprofundado das matérias-primas. A argila, o constituinte maioritário da cerâmica tradicional (faiança, porcelana, grés, grés porcelânico, tijolo refractário, tijolo estrutural, telhas), apresenta um interesse particular, não só pelas suas propriedades específicas, como pela diversidade composicional e multiplicidade de graus de pureza. A sua abundância relativa e distribuição uniforme na crosta terrestre proporcionaram uma ampla utilização pelas sociedades humanas, desde tempos imemoriais. Propriedades como plasticidade, retenção de forma e dureza após secagem e, em especial, a obtenção de um produto poroso e duro, embora frágil, após cozedura mesmo quando a 500°C, revelaram-se de singular importância. O conhecimento da sua estrutura é fundamental para a interpretação física das suas propriedades. Nunca nenhum material natural apresentou tantas e tão variadas aplicações como a argila.

Até há aproximadamente 50 anos, os materiais cerâmicos limitavam-se aos *cerâmicos tradicionais*, contemplando a faiança, a porcelana, a louça de hotelaria, os revestimentos, os sanitários e os cerâmicos estruturais, como tijolo, telha e colectores. Uma nova geração de materiais cerâmicos, designada por *cerâmicos técnicos*, afirma-se nas últimas décadas. A zircónia parcialmente estabilizada (ZrO_2), o nitreto de silício (SiN) ou o SiAlON são candidatos de relevo em aplicações estruturais avançadas, enquanto os cerâmicos para electrónica (por ex. $BaTiO_2$) ou para aplicações magnéticas (por ex. $NiFe_2O_4$) representam a maior fatia de mercado da indústria dos cerâmicos. Estes materiais são, em geral, sintetizados a partir de técnicas e processos químicos/físicos recentes.

Objectivo:

Matérias-primas nos sectores industriais da cerâmica e do vidro. Papel central das matérias-primas naturais, em particular, alumino-silicatos, feldspatos, e quartzo. Alumina, zircónia, carboneto de silício: processos industriais de síntese. Aditivos orgânicos.

Conteúdo:

Neste capítulo apresentam-se as composições de cerâmicos de relevante importância tecnológica e económica, e identificam-se as principais matérias-primas naturais. Faiança, porcelana e grés são localizadas no diagrama ternário

quartzo-argila-feldspato. O tetraedro de sílica é apresentado como uma unidade de construção para vários minerais naturais, de distinta tridimensionalidade (Q^0 , Q^1 , Q^2 , Q^3 e Q^4). É dada especial atenção ao grupo dos filo-silicatos, onde para além da estrutura, da avaliação da capacidade de permuta catiónica e das características hidrofílicas/hidrofóbicas é estudado o comportamento com a temperatura. Apresentam-se ainda os processos tradicionais de síntese industrial de alumina e de zircónia. Os aditivos orgânicos são apresentados no final do capítulo, mas o seu papel na reologia de suspensões coloidais cerâmicas será só abordado no capítulo de Reologia.

Competências a adquirir:

O aluno deverá adquirir competências na caracterização e escolha das principais matérias-primas nos processos industriais cerâmicos. O aluno deverá ser capaz de substituir uma matéria-prima por outra, de acordo com flutuações no mercado ou restrições de fornecedor. O aluno deverá ainda saber fazer balanços mássicos das unidades produtivas de cerâmica.

Duração:

2 aulas teóricas; 1 aula prática

CAPÍTULO 2 - PÓS CERÂMICOS ESPECIAIS

Se desagregarmos uma *micropartícula* esférica de 10 μm de diâmetro em múltiplas nanopartículas de 10 nm (de diâmetro), obteremos 10^9 nanopartículas. A razão dos raios é 10^3 e a razão das áreas superficiais 10^6 , pelo que a área específica cresce de um factor de 10^3 !

Uma das diferenças fundamentais entre os materiais à escala *nano* e à escala micro (ou macro) é o facto de a área específica atingir valores notáveis nos primeiros. À escala *nano*, porém, a elevada energia superficial confere aos materiais instabilidade ou metaestabilidade termodinâmica. Para produzir e estabilizar nanomateriais ou nanoestruturas é necessário vencer a elevadíssima energia das superfícies.

Um dos maiores desafios no fabrico e processamento de nanomateriais é o de *conviver* com a elevada energia de superfície e impedir que nanoestruturas ou nanomateriais aglomerem ou cresçam, motivados pela redução da energia de superfície. Estas dificuldades foram ultrapassadas nos últimos anos com as técnicas de fabrico designadas por *bottom-up*.

Um processo verde para a produção de partículas pequenas, com enorme aceitação no mundo empresarial, continua a ser, no entanto, uma metodologia *top-down* - o moinho de bolas (*ball milling*) (Fig. 30).

Objectivo:

Projecto (*design*) de pós cerâmicos (nas escalas μm e nm). Selecção de processo de fabrico, estudo de variáveis de processo. Métodos industriais para obtenção de pós – técnicas *bottom-up* e *top-down*. Técnicas de caracterização de pós cerâmicos.

Conteúdo:

Neste capítulo revisitam-se os conceitos termodinâmicos fundamentais na síntese de pós e de nanopartículas cerâmicas. Apresentam-se e discutem-se os parâmetros significativos na síntese de pós e de nanopartículas: tamanho, distribuição de tamanhos, forma, curvatura, área superficial, rugosidade superficial, hidrofobicidade/hidrofiliada, porosidade (tamanho e distribuição de poros), composição química e cristalinidade (de núcleo e coroa, em partículas estruturadas), espessura da coroa. Nucleação (homogénea e heterogénea) e crescimento de partículas, efeito de Gibbs-

Thomson são também discutidos. É explicada a motivação para o crescimento de partículas: relaxação estrutural, oxidação e passivação, maturação de Ostwald (*Ostwald ripening*), sinterização. De seguida apresentam-se os dois processos *bottom-up* muito utilizados na síntese de pós e de nanopartículas cerâmicas: precipitação e sol-gel.

São ainda abordados métodos industriais mais utilizados na redução de tamanho de matérias-primas tecnologias *top-down* como moagem e britagem. Descrição da operação unitária Moagem por Moinho de Bolas - variáveis processuais.

Descrição das técnicas mais comuns na caracterização de pós - SEM, TEM, BET, porosimetria de mercúrio, técnicas de sedimentação, DLS.

Competências a adquirir:

O aluno deverá adquirir competências na selecção da melhor técnica para a síntese de pós ou nanopartículas cerâmicas, com uma dada composição. O aluno deverá ser capaz de seleccionar as variáveis processuais de forma a obter os pós ou as nanopartículas com as características desenhadas no projecto.

O aluno deverá adquirir competências na selecção das variáveis operacionais nos processos de moagem e britagem.

O aluno deverá saber seleccionar a/as técnicas de caracterização de pós e nanopartículas mais adequadas ao seu processo.

Duração:

2 aula teórica; 1 aula prática

CAPÍTULO 3 - COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE SUSPENSÕES E PASTAS CERÂMICAS

A formação de dispersões coloidais é uma etapa quase sempre presente no processamento cerâmico. Os fenómenos de superfície desempenham um papel determinante na química destas dispersões coloidais. As propriedades das dispersões coloidais são resultante de um conjunto complexo de forças que actuam entre as partículas coloidais e entre estas e o meio dispersante. Estes fenómenos superficiais determinam o estado de agregação das partículas em suspensão e são um factor determinante do seu comportamento reológico.

Durante o fabrico de cerâmicos são vários os aditivos incorporados durante o processamento, que visam condicionar quer as propriedades de escoamento quer as relacionadas com várias operações unitárias do processo. Embora a maioria destas substâncias seja adicionada em quantidades relativamente pequenas, e em grande parte seja eliminada em etapas posteriores, os aditivos de processamento cerâmico são materiais essenciais de fabrico, de que pode depender o sucesso do processamento ou, mesmo, o desenvolvimento de novos produtos e/ou processos.

Objectivo:

Definição de colóide, estudo de propriedades de suspensões coloidais. Permuta catiónica em suspensões coloidais cerâmicas. O papel de pH nas suspensões coloidais cerâmicas. Ponto isoeléctrico. Estabilidade (cinética) de suspensões coloidais - modelos electrocinéticos. Estabilidade electrostática vs. estabilidade estereoquímica. Reologia dos sistemas argila-água. Aditivos de processo.

Conteúdo:

Este capítulo apresenta o conceito de colóide, de suspensão coloidal, assim como as propriedades características de suspensões coloidais - sedimentação, difusão, efeito de Tyndall, efeito electrocinético. No caso particular de suspensões cerâmicas, discute-se a permuta catiónica e o efeito do pH. São apresentados e discutidos os modelos electrocinéticos de Helmholtz, Gouy, Chapman, Stern e DLVO. A estabilidade coloidal (cinética) é discutida do ponto de vista estereoquímico. A presença de aditivos

orgânicos no processo de fabrico de cerâmica é debatida (complementar com Matérias Primas I).

Competências a adquirir:

O aluno deverá adquirir competências na selecção de aditivos ao processo cerâmico, quando em suspensão coloidal. O aluno deverá ser capaz de jogar com as variáveis processuais de forma a estabilizar, do ponto de vista cinético, suspensões coloidais de cerâmicos.

Duração:

2 aulas teóricas; 1 aula prática

CAPÍTULO 4 - PROCESSOS DE ENFORMAÇÃO DE CERÂMICOS

A etapa de enformação permite a transformação de um material não consolidado num material coerente, de geometria e microestrutura própria. A selecção da operação de enformação mais adequada para um determinado produto depende de várias propriedades físicas das matérias-primas, das tolerâncias dimensionais do produto final, dos níveis de reprodutividade e do capital investido, entre outros. Os mecanismos de enformação estão bastante dependentes da consistência e da resposta reológica do material.

Por via húmida o vazamento de suspensão (*slip-casting*) é um dos processos mais comuns. Por via seca, a prensagem isostática, antecedida de atomização de pós (*spray-drying*), é bastante usada.

Objectivo:

Enformação por via húmida - vazamento de suspensão (Fig 31). Enformação por via seca - atomização seguida de prensagem isostática (Fig. 32).

Conteúdo:

Neste capítulo são seleccionados e estudados dois processos de referência na enformação de cerâmicos. A operação unitária *vazamento de suspensão*, por via húmida, e as operações unitárias *atomização* e *prensagem isostática*, por via seca.

São descritos as operações unitárias seleccionadas, modelos físicos que os suportam, e as variáveis processuais. São discutidos defeitos possíveis nesta etapa de processo.

Competências a adquirir:

O aluno deverá adquirir competências na optimização das variáveis de processo relativas a cada operação unitária descrita. O aluno deverá adquirir competências na tomada de decisão rápida, em linha de produção, face à ocorrência de defeitos ou acidentes de processo.

Duração:

2 aulas teóricas; 1 aula prática

CAPÍTULO 5 - SECAGEM

A secagem é a operação unitária que consiste na remoção do líquido de um corpo poroso, através de um mecanismo de transporte e evaporação, para um ambiente exterior gasoso não saturado. A operação de secagem é determinante no sucesso do processamento cerâmico, e antecede, obrigatoriamente, a etapa de sinterização.

No processamento de pós, de produtos obtidos por conformação plástica ou por vazamento de suspensão e em produtos decorados ou revestidos, a secagem deve ser rigorosamente controlada. O desenvolvimento de forças de tensão interna causadas pela contracção diferencial ou pela pressão exercida por gases resultantes da degradação de matérias-primas ou de aditivos ao processo, poderão causar defeitos na peça.

Os processos físicos presentes na etapa de secagem de um corpo cerâmico são apresentados e desenvolvidos.

Objectivo:

Operação unitária de secagem no processamento de cerâmicos. Variáveis de processo e mecanismos físicos. Contracção linear e volúmica e defeitos durante a operação de secagem (Fig. 33).

Conteúdo:

Neste capítulo são estudados sistemas, mecanismos e processos de secagem. A contracção ao longo de secagem e os defeitos característicos desta etapa são abordados e discutidos. O aluno deverá adquirir competências na tomada de decisão rápida, em linha de produção, face à ocorrência de defeitos ou acidentes de processo.

Competências a adquirir:

O aluno deverá adquirir competências na optimização das variáveis de processo relativas à secagem.

Duração:

1 aula teórica, 1 aula prática

CAPÍTULO 6 - SINTERIZAÇÃO

A palavra *cerâmica* é de origem grega, *Keramikos*, e significa *terra queimada* - designação que integra o processo de fabrico e a matéria-prima. Após a operação unitária de secagem os corpos cerâmicos são submetidos a uma cozedura em forno, por vezes de atmosfera controlada, processo que é designado por sinterização.

É na etapa de sinterização que se estabelecem as ligações interpartículas, responsáveis pela coesão da massa cerâmica. Os fundamentos das ligações interpartículas, o papel das características intrínsecas do material cerâmico e da atmosfera do forno de sinterização são discutidos.

Distintos processos de transporte de massa e diversos mecanismos de sinterização são revisitados e aprofundados.

Objectivo:

Operação unitária de sinterização: mecanismos e variáveis de processo (Fig. 33).

Conteúdo:

Neste capítulo são estudados os processos de pré-sinterização, sinterização de fases sólidas, sinterização na presença de uma fase líquida, e a sinterização de vidrados e/ou revestimentos finos vítreos.

Competências a adquirir:

O aluno deverá adquirir competências na optimização das variáveis de processo relativas à sinterização. O aluno deverá adquirir competências na tomada de decisão rápida, em linha de produção, face à ocorrência de defeitos ou acidentes de processo.

Duração:

1 aula teórica

Fig. 30 Moinho de bolas, operação unitária usada na preparação de pós cerâmicos (metodologia *top-down*)



Fig. 31 Operações unitárias do fabrico de cerâmicos por via húmida: vazamento de suspensão (a) e acabamento de produtos sanitários obtidos por vazamento de suspensão (b)

(a)



(b)



Fig. 32 Operações unitárias do fabrico de cerâmicos por via seca: atomizador (*spray-drying*) (a); prensagem isostática (b)



(b)



Fig. 33 Operações unitárias de secagem (a) e cozadura (b)



(b)



Tecnologia de Materiais Vítreos

CAPÍTULO 1 - MATÉRIAS-PRIMAS II

Uma vez que os materiais vítreos partilham com os materiais cerâmicos ligação química, unidades estruturais, e até diagramas de equilíbrio (de trabalho), a primeira unidade designada por Matérias-primas I serve também de base à Tecnologia de Materiais Vítreos.

As composições dos vidros mais comuns contêm óxidos de metais alcalinos (por exemplo, Na_2O , K_2O , Li_2O) e/ou óxidos de metais alcalino terrosos (CaO , BaO). O aporte destes óxidos é realizado através da soda (Na_2O), da potassa (K_2O) e da cal (CaO).

Uma matéria-prima que hoje não pode ser esquecida é o casco (pedaços de vidro resultantes de desperdício industrial, ou após uso doméstico/hoteleiro/restauração). No fabrico de chapa de vidro (vidro *float*) pode usar-se até ~ 20 % em peso de casco industrial e no fabrico de vidro de embalagem, a utilização de casco não está restrita ao casco industrial, e pode atingir valores até 90 % em peso. Para além do casco (ou em lugar deste), algumas fábricas de vidro plano (*float*) estão a utilizar escórias de alto-forno (metalúrgico) como matéria-prima.

Cada matéria-prima sofre moagem até à obtenção de uma distribuição granulométrica adequada, que é função do papel estrutural que vai desempenhar no vidro. Por exemplo, o quartzo deve ter uma granulometria superior à das outras matérias-primas, para ser a última matéria-prima a incorporar-se no banho fundido. A incorporação tardia de SiO_2 no banho fundido, permitirá manter a viscosidade do banho baixa, num maior intervalo de tempo, facilitando as etapas de homogeneização e de afinagem. O casco é introduzido com uma granulometria superior à de todas as outras matérias-primas.

Objectivo:

Matérias-primas para o fabrico dos vidros tradicionais e de vidros especiais.
Granulometria específica para cada tipo de matéria-prima.

Conteúdo:

Neste capítulo apresentam-se as matérias-primas para o fabrico dos vidros tradicionais e de vidros especiais. Das areias, aos óxidos, carbonatos e sulfatos de sódio, potássio, lítio, cálcio e magnésio, aos feldspatos, hidróxido de alumínio, caulinos, óxido de chumbo e fluoretos, as matérias-

primas são estudadas do ponto de vista composicional, e de granulometria. Especial atenção é dada ao casco e a resíduos de alto-forno metalúrgico.

Competências a adquirir:

O aluno deverá adquirir competências na caracterização e selecção das principais matérias-primas nos processos industriais de vidro. O aluno deverá ser capaz de substituir uma matéria-prima por outra, de acordo com flutuações no mercado, restrições de fornecedor, ou questões ambientais. A utilização de casco/resíduos alto-forno deve ser maximizada. O aluno deverá ainda saber fazer balanços mássicos das unidades produtivas de vidro e formular cargas de alimentação ao forno.

Duração:

2 aulas teóricas; 1 aula prática

CAPÍTULO 2 - ESTRUTURA VÍTREA

Teoricamente qualquer material pode formar vidro, desde que a velocidade de arrefecimento do seu fundido seja tão elevada que impossibilite a difusão atômica/iônica necessária à formação do cristal. Nos materiais amorfos observa-se, como nos cristais, uma ordem de curto alcance (e por ordem de curto alcance entende-se $\sim \text{Å}$, correspondente à primeira esfera de coordenação atômica), mas não uma ordem de longo alcance (distância igual ou superior a 1 nm).

Neste capítulo são revisitados e aprofundados os modelos de formação da rede vítrea. Especial atenção é dada à escolha de uma composição facilmente vitrificável a partir da leitura do respectivo diagrama de equilíbrio termodinâmico do sistema.

Objectivo:

Noções de rede vítrea, formador, modificador e estabilizante de rede. Sistemas vítreos. Modelos de formação de rede vítrea. Propriedades de vidros, T_g . Composições vítreas comerciais e composições vítreas especiais.

Conteúdo:

Neste capítulo revisitam-se os conceitos fundamentais sobre rede vítrea, papel estrutural de vários constituintes, e propriedades de vidros. Apresentam-se vários modelos estruturais de formação vítrea, e discute-se a sua adequabilidade a sistemas vítreos não tradicionais.

Competências a adquirir:

O aluno deverá adquirir competências na análise de estruturas vítreas.

Duração:

1 aula teórica; 1 aula prática

CAPÍTULO 3 – FABRICO DE VIDROS POR FUSÃO

A carga a introduzir no forno é formulada de acordo com a composição química do vidro a produzir. As matérias-primas são doseadas, misturadas e pré-aquecidas. Após a introdução no forno de fusão (Fig. 34), esta mistura sofre aquecimento até à obtenção de uma pasta líquida e viscosa.

Durante a fusão ocorrem várias reacções químicas, umas de decomposição/dissolução (como as de carbonatos e de sulfatos), outras de desidratação (de sais hidratados) e outras ainda de estado sólido, envolvendo reacções/transformações entre alguns dos constituintes. De todas as matérias-primas, o casco é aquela que (re)fundem a temperaturas mais baixas, pelo que a sua presença acelera o processo de fusão. Na (re) fusão do casco, não é consumida energia em reacções de fusão ou de dissolução de areia, soda ou cal.

Especial atenção é dada aos processos redox presentes no forno de fusão vítrea – cor e afinagem. A temperatura máxima atingida no forno de fusão de vidro é da ordem de 1600 °C (*hot spot*). Após a homogeneização e afinagem (onde o vidro adquire homogeneidade química e as bolhas são eliminadas), decorre uma etapa de repouso e acondicionamento térmico (onde o vidro adquire homogeneidade térmica), onde a temperatura do fundido vítreo decresce para um valor da ordem dos 1100 °C, à qual vai ser moldado. São estudados vários processos de cor em vidro.

Objectivo:

Processos reaccionais no forno de fusão vítrea. Reacções de componentes, leitura de diagramas de equilíbrio binário e ternário. Dissolução do excedente de sílica. O papel da granulometria das várias matérias-primas.

Afinado e homogeneização do vidro. Mecanismos e selecção de agentes/processos de afinagem.

Conteúdo:

Neste capítulo apresentam-se e estudam-se vários diagramas de equilíbrio, binários e ternários, de interesse para a formação de vidro. Estuda-se, em particular, as reacções nos sistemas $\text{Na}_2\text{O-SiO}_2\text{-CO}_2$, $\text{K}_2\text{O-SiO}_2\text{-CO}_2$, $\text{CaO-SiO}_2\text{-}$

CO_2 , PbO-SiO_2 , e $\text{Na}_2\text{O-B}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$. Delimitam-se zonas de fácil formação de vidro.

Estudo dos processos reaccionais que ocorrem no forno de fusão.
Dissolução do excedente de sílica. Afinado e homogeneização do vidro.
Mecanismos e selecção de agentes/processos de afinagem.

Competências a adquirir:

O aluno deverá adquirir competências na leitura de diagramas binários e ternários. O aluno deverá ser capaz de delinear regiões formadoras de vidro em diagramas binários e ternários, com base em informação experimental.

O aluno deverá ser capaz ordenar (em função da temperatura) todos os processos reaccionais que ocorrem no forno de fusão vítrea. O aluno deverá ser capaz de seleccionar um agente afinante para uma determinada composição vítrea.

O aluno deverá adquirir competências na leitura de diagramas binários e ternários. O aluno deverá ser capaz de delinear regiões formadoras de vidro em diagramas binários e ternários, com base em informação experimental.

Duração:

2 aulas teóricas

CAPÍTULO 4 – ENFORMAÇÃO E MOLDAGEM DE VIDROS

De um ponto de vista industrial, a temperatura de fusão define-se como a temperatura à qual a viscosidade tem o valor 10 Pa.s. A região de trabalho, onde é possível conferir forma à pasta vítrea, encontra-se limitada pelos valores de viscosidade 10^3 Pa.s e $10^{6.5}$ Pa.s.

Os processo de moldagem são dependentes do produto final a fabricar. Assim, o vidro oco é moldado automaticamente em máquinas IS, essencialmente por processos soprado-soprado e prensado-soprado, enquanto o vidro plano é moldado em câmara de *float*.

Objectivo:

Enformação e moldagem de vidro oco e de vidro plano.

Conteúdo:

Neste capítulo são estudados processos de referência na moldagem de vidro oco e de vidro plano.

São descritos e estudadas as variáveis dos seguintes processos (vidro oco) - sucção-soprado, alimentação por gota, soprado-soprado. Relativamente à moldagem de vidro plano são estudados os sistemas Colburn-Libbey-Owens, Fourcault, Pittsburgh, laminado contínuo, laminado impresso e flutuação (*float*).

São discutidos defeitos possíveis na etapa de enformação e moldagem.

Competências a adquirir:

O aluno deverá adquirir competências na optimização das variáveis de processo relativas a cada operação unitária descrita. O aluno deverá adquirir competências na tomada de decisão rápida, em linha de produção, face à ocorrência de defeitos ou acidentes de processo.

Duração:

2 aulas teóricas, 1 prática

CAPÍTULO 5 – FABRICO DE VIDROS ESPECIAIS

Pela crescente importância tecnológica e comercial de vidros especiais, são seleccionados casos, cujo processo de fabrico é estudado. Os vitro-cerâmicos destacam-se pela enorme fatia de mercado no sector do vidro. Os biovidros apresentam-se como uma opção atraente em medicina e medicina dentária. As fibras de vidros curtas impõem-se pelo valor acrescentado que incorporam em materiais compósitos. As fibras ópticas permanecem um importante produto, de ampla utilização tecnológica e doméstica (fig. 36). Vidros Pyrex® e Gorilla® afirmam-se como pioneiros em sectores de elevada importância comercial e/ou tecnológica.

Objectivo:

Processos de fabrico de vidros especiais. Fabrico de fibras ópticas por preformas, duplo cadinho e CVD. Processos de fabrico de fibra curta. Ciclos térmicos na produção de vitrocerâmicas e biovidros. Vidro Pyrex® e Gorilla®. Variáveis de processo.

Conteúdo:

Neste capítulo são estudados processos de fabrico de vidros especiais, discutidas as variáveis de processo.

Competências a adquirir:

O aluno deverá adquirir competências na optimização das variáveis de processo relativas aos vários processos descritos para o fabrico de vidro oco e vidro plano.

Duração:

1 aula teórica

CAPÍTULO 6 – RECOZIMENTO E TÊMPERA

Durante o arrefecimento rápido de um fundido vítreo, e devido à baixa condutibilidade térmica do vidro, a dissipação térmica não ocorre à mesma velocidade em toda a massa vítrea, estabelecendo-se um gradiente térmico do centro da chapa de vidro até à superfície. As camadas exteriores, que arrefecem mais depressa, tornam-se rígidas e contraem-se, enquanto as camadas internas permanecem a temperaturas mais elevadas e viscosas. Ao ir desaparecendo o gradiente térmico (por homogeneização térmica), as camadas interiores contraem-se, mas já não o fazem livremente, pois encontram a oposição das camadas rígidas superficiais (que as puxam para o exterior, impedido-as de atingir o equilíbrio dimensional exigido pelo seu coeficiente de dilatação). No equilíbrio térmico, as camadas interiores permanecem em tracção, e as exteriores, em compressão.

Na prática industrial, após conformação, submete-se o vidro a um arrefecimento lento e controlado, de modo a reduzir as tensões internas. Este processo de arrefecimento é designado por recozimento (Fig. 37). Após o recozimento, a estrutura relaxa-se o mais uniformemente possível e adquire o mesmo volume específico em todos os pontos.

Após o recozimento o vidro plano pode ainda ser submetido a um processo de têmpera, pelo que adquirirá uma resistência mecânica superior. A têmpera pode ser térmica ou química.

Objectivo:

Métodos de recozimento de vidro. Variáveis de processo. Têmpera térmica e têmpera química. Vidros de segurança.

Conteúdo:

Mecanismo de formação de tensões internas durante arrefecimento de fundidos vítreos. Processos de relaxação de tensões. Curvas de recozimento (curva empírica da *Corning*).

Medida de tensões residuais - anisotropia e birrefringência. Atrazo e cor de interferência. Medida da cor de interferência.

O aluno deverá saber optar por têmpera térmica ou têmpera química, função do produto a desenvolver.

Competências a adquirir:

O aluno deverá adquirir competências no estabelecimento de curvas de recozimento e nas acções correctivas a implementar quando o material vítreo apresenta elevado nível de tensões internas.

Duração:

1 aula teórica, 1 aula prática

CAPÍTULO 7 – DEFEITOS EM VIDRO

No vidro, como noutros materiais, um defeito entende-se como uma manifestação accidental ou indesejável, capaz de alterar a natureza ou deteriorar propriedades. Sendo a transparência e a fragilidade as duas características mais fortes do vidro, são também estas que resultam mais afectadas por imperfeições.

É de realçar que quando as irregularidades definidas como defeitos devem deixar de o ser quando provocadas deliberadamente para conseguir um efeito decorativo ou melhoramento técnico, como acontece em vidros desvitrificados ou tensionados.

Os defeitos vítreos podem classificar-se em defeitos em massa ou de fusão, defeitos de recozimento ou têmpera, defeitos de armazenagem e, por último, defeitos em serviço. O tipo de defeito determinará a acção imediata do engenheiro responsável pela linha de produção.

Objectivo:

Classificação dos vários tipos de defeitos. Identificação do tipo de defeito.
Acção imediata em linha de fabrico.

Conteúdo:

Erros ou acidentes ao longo do fluxograma de produção capazes de conduzir à formação de defeitos.

Classificação de defeitos. Selecção dos defeitos passíveis de reincorporação no forno de fusão (casco industrial). Eliminação de defeitos não passíveis de reincorporar no forno de fusão.

Competências a adquirir:

O aluno deverá adquirir competências na classificação de defeitos e na decisão de incorporação no forno de fusão.

O aluno deverá adquirir competências nas acções imediatas a tomar face ao aparecimento de defeitos em linha produtiva.

Duração:

1 aula teórica, 1 aula prática

Fig. 34 Matérias-primas à boca de *enforna*



Fig. 35 Saída da câmara de *float*



Fig. 36 Fabrico de vidros especiais: lâmpadas(a) e fibras óptica (b)

(a)



(b)

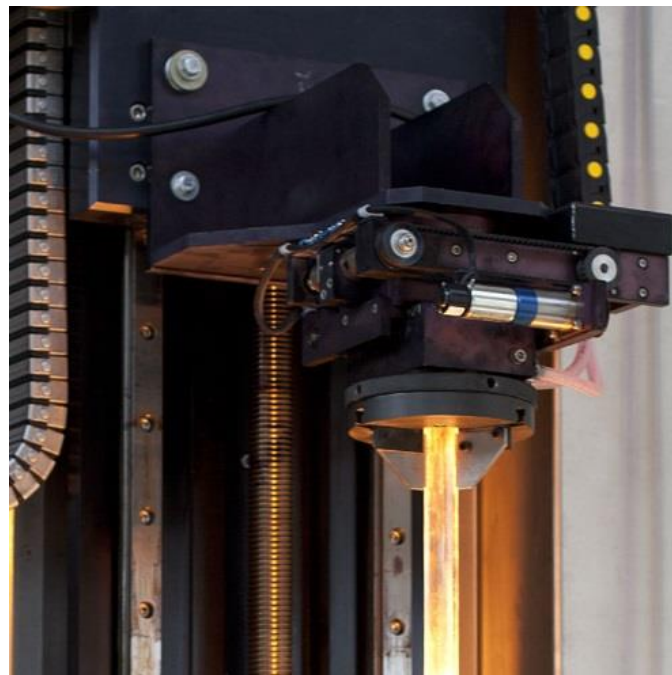
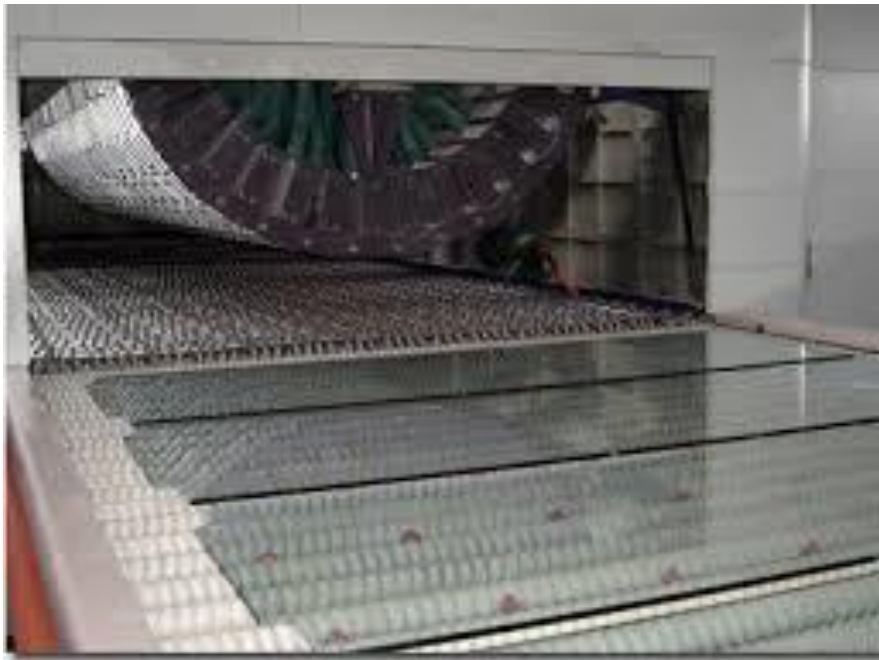


Fig. 37 Operações unitárias do fabrico: arca recozimento (a), têmpera em autoclave (b)



(b)



TECNOLOGIA DE CERÂMICOS	TEÓRICAS	PRÁTICAS
CAPÍTULO 1 MATÉRIAS-PRIMAS	2T	1P
CAPÍTULO 2 PÓS CERÂMICOS ESPECIAIS	2T	1P
CAPÍTULO 3 COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE SUSPENSÕES E DE PASTAS CERÂMICAS	2T	1P
CAPÍTULO 4 PROCESSOS DE ENFORMAÇÃO	2T	1P
CAPÍTULO 5 Secagem	1T	1P
CAPÍTULO 6 Sinterização	1T	
AVALIAÇÃO TESTE INTERMÉDIO		1P
VISITA DE ESTUDO	1T	1P

TECNOLOGIA DE VIDROS	TEÓRICAS	PRÁTICAS
CAPÍTULO 1 MATÉRIAS-PRIMAS	2T	1P
CAPÍTULO 2 ESTRUTURA VÍTREA	1T	1P
CAPÍTULO 3 FABRICO DE VIDROS POR FUSÃO	2T	
CAPÍTULO 4 ENFORMAÇÃO E MOLDAGEM DE VIDROS	2T	1P
CAPÍTULO 5 FABRICO DE VIDROS ESPECIAIS	1T	
CAPÍTULO 6 RECOZIMENTO E TÊMPERA	1T	1P
CAPÍTULO 7 DEFEITOS EM VIDROS	1T	1P
AVALIAÇÃO TESTE INTERMÉDIO		1P
VISITA DE ESTUDO	1T	1P

Bibliografia

Baseando a disciplina em processos e metodologias fabris em Cerâmica e Vidro, não é fácil encontrar livros que cobram a totalidade da matéria leccionada. Aqui são propostas duas obras que englobam o processamento de cerâmicos e de vidros – um livro e um *handbook* – para além de livros base específicos em Cerâmica Vidro.

Para além da bibliografia base da disciplina, ao longo do semestre é fornecida informação adicional, comunicada na aula e colocada em linha na plataforma da disciplina. A bibliografia adicional permitirá aprofundar qualquer um dos tópicos abordados. Os *slides* apresentados durante as aulas (teóricas ou praticas) são também disponibilizados aos alunos na página da disciplina.

- Ceramic and Glass Materials

Structure, Properties and Processing, Eds. J Shackelford, RH Doremus
Springer (2008)

ISBN: 978-0-387-73361-6; 978-1-4419-4460-3 eISBN: 978-0-387-73362-3

- Ceramics and Glasses

V4 Engineered Materials Handbook

ASM International, The Materials Information Society

ASM International (1991)

ISBN 0-87170-282-7

- El Vidrio, JMF Navarro (2nd Edition)

CSIC, Fundación Centro Nacional del Vidrio

ISBN 84-00-08158-7

- Introduction to the Principles of Ceramic Processing, J. Reed

John Wiley & Sons (1988)

ISBN: 0-471-84554-X

TECNOLOGIA CERÂMICOS	MATERIAL AULA	BIBLIOGRAFIA ADICIONAL
CAPÍTULO 1 MATÉRIAS PRIMAS I	1 MATERIASPRIMASI.PDF	<ul style="list-style-type: none"> • The Science of Clays: Applications in Industry, Engineering, and Environment, S Mukherjee Springer Science & Business Media (2013) ISBN: 9400766831 ISBN: 9789400766839 • Raw materials for Glass and Ceramics: Sources, Processes, and Quality Control, CW Sinton 1st Edition Wiley (2006) ISBN: 13: 978-0471479420 eISBN: 10: 047147942X • Argilas - aplicações na indústria, CSF Gomes Universidade Aveiro, 2002 ISBN: 972-8684-12-6 • Clay Minerals: A Physico-Chemical Explanation of their Occurrence, Volume 40 Developments in Sedimentology Elsevier (2000) ISBN: 0080869548, 9780080869544 • Ceramic Raw Materials, WE Worral (2nd edition) Institute of Ceramics Textbook Series 1988 ISBN: 978-0-08-028711-9
CAPÍTULO 2 PÓS CERÂMICOS ESPECIAIS	2 POSCERAMICOSI.PDF 2A POSCERAMICOSII.PDF	<ul style="list-style-type: none"> • Nanomaterials, MC Gonçalves p. 629-677 <i>in: Materials for Construction and Civil Engineering: Science, Processing, and Design</i>, M Clara Gonçalves, Fernanda Margarido (eds) Springer, New York (2015) ISBN 978-3-319-08235-6 Hardcover eISBN 978-3-319-08236-3 • Nanomateriais, MC Gonçalves p. 725-771 <i>in: Ciência e Engenharia de Materiais de Construção</i>, M Clara Gonçalves, Fernanda Margarido (eds) ISTPress, Coleção Ensino da Ciência e da Tecnologia (2012) ISBN 978-989-8481-17-7 • Multifunctional core-shell nanostructures, MC Gonçalves, Barbara Martins p. 83-110 <i>in: Nanomedicine</i>, N Ali, Alexander Seifalian (eds) One Central Press Office, Manchester, UK2014 ISBN 978-1-910086-00-1 Hardcover eISBN 978-1-910086-01-8 www.onecentralpress.com/nanomedicine • Ball Milling Towards Green Synthesis, Brindaban Ranu (Editor, Contributor), Achim Stolle (Editor, Contributor), James H Clark (Editor), George Kraus (Series Editor)
CAPÍTULO	3	<ul style="list-style-type: none"> • Colloidal Silica: Fundamentals and Applications, HE Bergna (2nd edition)

<p>COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE SUSPENSÕES E DE PASTAS CERÂMICAS</p>	<p>3 REOLOGIA.PDF</p>	<p>Taylor & Francis (2005) ISBN-10: 0824709675 ISBN-13: 9780824709679</p> <ul style="list-style-type: none"> • Surface and Colloidal Chemistry in Advanced Ceramics Processing, RJ Pugh Taylor & Francis (2000) ISBN-10: 0824790987 ISBN-13: 9780824790981 • The Colloidal Domain: Where Physics, Chemistry, Biology, and Technology Meet, DF Evans, H Wennerstrom (2nd Edition) Wiley (1999) ISBN-10: 0471242470 ISBN-13: 9780471242475 • Finely Dispersed Particles: Micro-, Nano-, and Atto-Engineering, AM Spasic Taylor & Francis (2005) ISBN-10: 1574444638 ISBN-13: 9781574444636
<p>CAPÍTULO 4 - PROCESSOS DE ENFORMAÇÃO</p>	<p>4 ENFORMAÇÃO.PDF</p>	
<p>CAPÍTULO 5 - SECAGEM</p>	<p>5 SECAGEM.PDF</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ceramics Drying, RW Ford (2nd edition) Elsevier (2013) ISBN-148329305X ISBN-9781483293059
<p>CAPÍTULO 6 - SINTERIZAÇÃO</p>	<p>6 SINTERIZAÇÃO.PDF</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Sintering: From Empirical Observations to Scientific Principles, R German (2nd edition) Butterworth-Heinemann (2014) ISBN-0124016774, ISBN-9780124016774 • Sintering: Densification, Grain Growth and Microstructure, S-JL Kang (2nd edition) Butterworth-Heinemann (2004) ISBN-0080493076 ISBN-9780080493077 • Mastering Raku: Making Ware Glazes, Building Kilns Firing, S Branfman, A Lark Ceramics Book ISBN 1454703679 ISBN-13: 978-1454703679
<p>CAPÍTULO 7 - ACABAMENTO SUPERFICIAL</p>		

TECNOLOGIA VIDROS	MATERIAL AULA	BIBLIOGRAFIA ADICIONAL
CAPÍTULO 1 - MATÉRIAS-PRIMAS II	MATERIASPRIMAS.PDF	<ul style="list-style-type: none"> • Raw materials for Glass and Ceramics: Sources, Processes, and Quality Control, CW Sinton 1st Edition Wiley (2006) ISBN: 13: 978-0471479420 eISBN: 10: 047147942X • Ceramic Raw Materials, WE Worral (2^a Ed) Institute of Ceramics Textbook Series, 1988 ISBN: 978-0-08-028711-9 • Argilas - aplicações na indústria, CSF Gomes Universidade Aveiro, 2002 <p>Raw materials for glass melting, Bo Simmingsköld ISBN 0 900682 24 8</p>
CAPÍTULO 2 - ESTRUTURA VÍTREA	ESTRUTURAVITREA.PDF	<ul style="list-style-type: none"> • Overall aspects of non-traditional glasses. Synthesis, properties and applications, HC Vasconcelos, MC Gonçalves (eds) Bentham Science Publishers (2016) ISBN: 978-1-68108-208-0 Hardcover eISBN: 978-1-68108-207-3 • Introduction to Glass Science and Technology, J.E. Shelby, RSC Paperbacks, Cambridge, U.K 2^a ed., 2005 • Fundamentals of Inorganic Glasses, A.K. Varshneya, Academic Press, New York, 2^a ed., 2006 • Glass. Nature, Structure and Properties, H Scholze (2^a Ed) Springer-Verlag New York (1991) ISBN-978-1-4613-9071-8 ISBN978-1-4613-9069-5 • Structural Chemistry of Glasses, KJ Rao (2^a Ed) Butterworth-Heinemann (2014) Elsevier (2002) ISBN-978-0-08-043958 • Amorphous and Nanocrystalline Materials. Preparation, Properties, and Applications, A Inoue, K Hashimoto (Eds) Advances in Materials Research, V3 Springer (2001) ISBN: 978-3-540-67271-5; eISBN: 978-3-662-04426-1
CAPÍTULO 3 - FABRICO DE VIDRO POR FUSÃO	FUSAO.PDF	<p>http://www.lehigh.edu/imi/teched/GlassProcess/Lectures/Lecture03_Hubert_industglassmeltfurnaces.pdf http://www.sorg.de/pdf/glas_melting.pdf The science and technology of inorganic glasses and glass-ceramics. From Ancient to the Present to the Future. Ian W.Donald ISBN 978 0 900682 77 3</p>
CAPÍTULO 4 - ENFORMAÇÃO E MOLDAGEM EM	ENFORMAÇÃO.PDF	

VIDRO		
CAPÍTULO 5 – FABRICO DE VIDROS ESPECIAIS	VIDROS ESPECIAIS.PDF	<ul style="list-style-type: none"> • Overall aspects of non-traditional glasses. Synthesis, properties and applications, HC Vasconcelos, MC Gonçalves (eds) Bentham Science Publishers (2016) ISBN: 978-1-68108-208-0 Hardcover eISBN: 978-1-68108-207-3
CAPÍTULO 6 – RECOZIMENTO E TÊMPERA	RECOZIMENTOTEMPERA.PDF	
CAPÍTULO 7 – DEFEITOS EM VIDROS	DEFEITOS.PDF	Stones and cord in glasses C. Clark-Monks & J. M. Parker ISBN 10: 0900682183 ISBN 13: 9780900682186

Métodos de ensino e organização pedagógica

O método de ensino seleccionado visa o desenvolvimento do aluno em múltiplas vertentes - na resolução escrita de problemas e na interpretação de estudo de casos, no desenvolvimento de pequenos projectos ou productos, e ainda no contacto com unidades industriais do sector da cerâmica e do vidro.

A disciplina compreende um conjunto de aulas teóricas onde a matéria lectiva é explanada, de forma participativa, e acidentes, erros ou falhas de produção são apresentadas como estudo de casos. A perspectiva fabril é apresentada sempre que relevante. Sempre que possível a docente apresentará exemplos da sua actividade de investigação, que integrem ou complementem os tópicos em análise.

Nas aulas práticas discutem-se e resolvem-se vários problemas ilustrativos dos temas leccionados nas aulas teóricas.

O projecto de um produto ou processo é acompanhado pela docente, embora a autonomia dos alunos seja estimulada. O tema a abordar é seleccionado pelo aluno livremente e apresentado publicamente no final do semestre.

Durante o semestre realizam-se visitas a duas unidades de vidro e a duas unidades de cerâmica, representativas do sector. As visitas são planeadas para um dia cada (1 unidade manhã, 1 unidade tarde.) Os alunos são estimulados a preparar cada visita elaborando um conjunto de questões a colocar na unidade fabril.

Com esta abordagem plural pretende estimular-se e desenvolver-se o conjunto de competências que farão parte do desafio do Engenheiro de Materiais em unidade fabril de cerâmicos ou vidros.

Avaliação

A avaliação da disciplina assenta na realização de uma prova escrita e na realização de um projecto de produto ou processo. O peso da prova escrita é de 75% e os restantes 25% pelo

projecto realizado. As visitas de estudo têm carácter obrigatório, pela importância na formação do aluno.

A avaliação escrita tem consistido na realização de dois testes ao longo do semestre, cuja aprovação permitirá ao aluno dispensar do exame final. Caso não dispense o aluno poderá efectuar um exame final. Em alternativa o aluno poderá optar por ser avaliado numa prova final (exame), tendo neste caso duas datas de exame.

A prova escrita consiste num conjunto de problemas práticos e questões teóricas. Sendo o mesmo docente responsável pela leccionação completa da disciplina, ou nos últimos dois anos responsável pela parte de Cerâmicos ou Vidros, existe uma boa complementaridade e interligação entre a parte teórica e a prática. As provas de avaliação contêm algumas questões diferenciadoras, de grau de dificuldade mais elevado.

Anexam-se alguns exemplos teste e Exame de avaliação.

O projecto de produto ou processo pode ser substituído por um Relatório de Estágio em unidade fabril. Os alunos são incentivados a optar por esta via.

Conclusão

Após vários ciclos recessivos nacionais e europeus, as unidades fabris nacionais encontram-se equipadas com a maquinaria mais recente no sector, dominam as últimas tecnologias sendo detentoras de várias patentes de processo e produto, compreendem quadros muito qualificados, reúnem uma carteira de clientes e um número de encomendas que lhes permite olhar o futuro com optimismo. Portugal é uma referência na produção de vidro de embalagem detendo uma das únicas fábricas no mundo a produzir vidro âmbar.

Para além do mercado tradicional na produção de cerâmicos e vidros, existe hoje um conjunto muito alargado de outros produtos que incorporam micro- ou nano-partículas de cerâmica ou vidro – da medicina, à farmácia, passando pelos têxteis, tintas, vernizes, polímeros, ou metais. São numerosos, também, os revestimentos cerâmicos ou vítreos.

Um Mestrado em Engenharia de Materiais que se pretende abrangente e plural, de largo espectro científico/técnico, capaz de dotar o futuro engenheiro da bagagem necessária e suficiente para se afirmar num mercado competitivo e global não poderá deixar de contemplar uma formação em Cerâmica e Vidro, pelo que a inclusão de uma unidade curricular em Tecnologia de Materiais Cerâmicos se torna obrigatória.

Anexo I

Em CD material apresentado durante aulas e fornecido aos alunos.

Anexo II

Exemplo de Testes e Exames finais.



TECNOLOGIA DE MATERIAIS CERÂMICOS

2nd Test and 1st Exam, January 12, 2016

/

1. For the fabrication of container glass with the molar composition $66 \text{ SiO}_2 - 2 \text{ Al}_2\text{O}_3 - 12 \text{ CaO} - 4 \text{ MgO} - 16 \text{ Na}_2\text{O}$, please indicate:
 - a) The possible raw material sources for each constituent, mentioning any advantages and/or disadvantages.
 - b) Discuss the use of cullet and its possible advantages and/or disadvantages in the case of: (i) in-house cullet, originating from glass parts rejected due to deficient annealing; (ii) urban cullet.
 - c) Glass bottles cannot be subjected to a proper thermal tempering treatment. Explain why and give an alternative.
 - d) Explain briefly how the following techniques contribute to reduce emissions and/or improve the efficiency of glass melting: (i) pelletized raw materials; (ii) oxy-fuel vs. air-fuel firing.

2. For flat glass production, the “float” process is normally used, whereas IS machines are used for hollow glass fabrication.
 - a) Indicate the main advantages of the “float” process compared to the previous Pittsburgh “vertical-draw” plate glass fabrication technology. Are there limits in the thickness achievable by the float process? Please explain.
 - b) What is the main requirement for “solar float” glass and why?
 - c) What is the meaning of the acronym “IS”? Describe briefly the press-and-blow process for hollow glass fabrication. When compared to the blow-and-blow process, which is more suitable for bottle making and why?

3. Colored glass is a very important type of glass product, whether we consider hollow, flat, or artistic glass.
 - a) If a glass melting tank is normally used to produce colorless glass and the factory suddenly needs to make a short series of colored glass products, is it efficient to add coloring agents to the glass batch and start making the colored glasses? Is there a possible alternative to this?
 - b) Explain briefly how the green and amber colors are achieved in glass bottles.
 - c) How can colorless glass be made by ensuring a proper $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ratio?
 - d) Indicate the main differences between colored glass (as in a bottle) and laser glass (for example for nuclear fusion), namely regarding their composition, fabrication, properties and costs.

II

4. A ceramic paste has been formulated with the following raw materials:

- 60 kg Kaolin: $(Al_2 Si_2 O_5(OH)_4)$
- 10 kg Montmorillonite: $(Al_{1.7} Mg_{0.3})O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$
- 9 kg Sand: SiO_2
- 20 kg Albite feldspar $(75 SiO_2 - 12.5 Al_2O_3 - 12.5 Na_2O)$
- 1 kg Calcium carbonate: $CaCO_3$

a) Classify the ceramic product and indicate its localization in the ternary quartz/feldspar/clay phase diagram.

b) Starting from the paste formulation, calculate the sintered ceramic composition. Quantify the mass loss during this unit operation.

c) In the factory lab how can you follow/predict the pre-sintering and sintering processes of the ceramic body? Discuss the pre-sintering processes of the ceramic paste (suggestion: draw and explain the curves of the characterization technique chosen).

d) Kaolin is the most important clay mineral. Starting from the silicon tetrahedron building block, and based on the Q^n notation, explain the kaolin mineral construction. Describe its layered structure, inter- and intra- chemical bonds, cleavage planes, lyophilic/lyophobic surface character, etc.

*) Make the charge balance of the kaolin unit cell. Based on that, discuss its cationic exchange capacity.

5. Slurries are present in ceramic process even when dry route is chosen.

a) Sketch the variation of electrical potential (ξ) with pH for an aqueous suspension of silica. Indicate its PZC.

b) Based on the DLVO theory explain why sodium polyacrylate and sodium carbonate are often effective deflocculants when cations of high valence are present in the suspension. What is the counterion after deflocculant addition? Draw and explain the curve for the zeta potential and viscosity as function of deflocculant concentration.

c) Describe the slip casting process - mentioning the mold characteristics, the slip rheology, the driving force and the parameters of this conformation process.

6. The drying efficiency determines sintering productivity.

a) A product is dried such that the drying air impinges on the top surface causing very rapid drying, but very little air flow occurs along the sides.

Contrast the drying rates curves for the different surfaces. Describe the drying mechanism.

b) After drying the ceramic powder density was measured with liquid pycnometer test. The data obtained were as follows: pycnometer mass, 32.383g; pycnometer and powder, 41.923 g; pycnometer and water, 84.229 g; pycnometer, powder and water, 91.170 g. Calculate the apparent density. If the density were determined using a gas pycnometer, would you expect a higher or lower apparent density? Explain.