

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

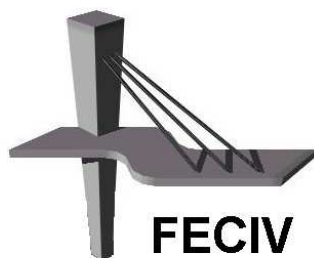
DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Nº 001

**ESTUDO DA CAPACIDADE FOTODEGRADANTE
DE UM COMPÓSITO À BASE DE TiO_2 FRENTE À
BACTÉRIA *Staphylococcus aureus***

JOSÉ ANCELOANN LAGO GRANDE MARTINS

UBERLÂNDIA, (04 de novembro de 2013)



FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



José Anceloann Lago Grande Martins

**ESTUDO DA CAPACIDADE FOTODEGRADANTE DE UM
COMPÓSITO À BASE DE TiO_2 FRENTE À BACTÉRIA
*Staphylococcus aureus***

Defesa de dissertação, apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientador: Prof. Dr. João Fernando Dias

Uberlândia, (04/11/2013)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA Nº: 119/2013

CANDIDATO: José Anceloann Lago Grande Martins

ORIENTADOR: Prof. Dr. João Fernando Dias

TÍTULO: "Estudo da capacidade fotodegradante de um compósito à base de TiO_2 frente à bactéria *staphylococcus aureus*"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Estruturas e Construção Civil

LINHA DE PESQUISA: Construção Civil

DATA DA DEFESA: 04 de novembro de 2013

LOCAL: Sala de Projeções Prof. Celso Franco de Gouvêa da FECIV

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 10:00 h - 12:00 h

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que o candidato foi:

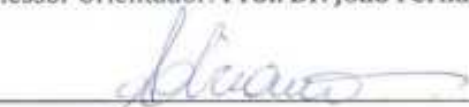
☒ APROVADO

☐ REPROVADO

OBS:

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:


Professor Orientador: **Prof. Dr. João Fernando Dias - FECIV/UFU**


Membro externo: **Prof. Dr. João Adriano Rossignolo - FZEA/USP**


Membro: **Prof. Dr. Geraldo Batista de Melo - ICBIM/UFU**

Uberlândia, 04 de NOVEMBRO de 2013

"Confesso que as mais das iguarias com que vos convido são alheias, mas o guizamento d'ellas é de minha casa".

Amador Arrais, Diálogos

AGRADECIMENTOS

Este trabalho envolveu tantos personagens, em um período tão longo, que com certeza esquecer-me-ei de alguns. À estes personagens esquecidos, meu enorme agradecimento, pois sem dúvida foram seus insights que contribuíram para cimentar os capítulos deste trabalho.

Dos que minha memória não trai, lembro com louvor e carinho:

- Professora Doutora Maria Cristina Vidigal de Lima, que me apresentou o tema.
- Professor Doutor João Fernando Dias, meu orientador. A sua paciência, persistência e insistência foram determinantes para a conclusão deste trabalho.
- O amigo Alexandre Dias de Araújo Neto, mestre em química, que me iniciou nas alquimias da fotodegradação.
- O Professor Doutor Geraldo Batista de Melo, do Instituto de Ciências Biomédicas da UFU, que abriu seu laboratório, sua agenda e seus conhecimentos para a realização dos experimentos envolvendo bactérias. Estendo os agradecimentos a toda sua equipe que participou do projeto: a técnica de laboratório Claudete Freitas, a aluna de graduação em biologia Roberta Tomaz Botta e, especialmente, a aluna de graduação em odontologia Tayse Rodrigues Oliveira.

À Universidade Federal de Uberlândia e à Faculdade de Engenharia Civil, que forneceram o apoio necessário à realização da pesquisa.

À CAPES, pelo apoio financeiro.

Aos meus pais.

À Deus.

Martins, J. A. L. G. M. Estudo da capacidade fotodegradante de um compósito à base de TiO_2 frente à bactéria *Staphylococcus aureus*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2013. 70 p.

RESUMO

A fotodegradação ou fotocatalise é um processo químico de degradação de matéria através da sua decomposição em outros elementos molecularmente mais simples e inofensivos ao ser humano e ao ambiente. O processo se dá quando um semicondutor inorgânico como o TiO_2 , é irradiado com luz ultravioleta (comprimento de onda de 320 a 400 nm). A energia absorvida provoca excitação eletrônica, fazendo com que elétrons se desprendam dos orbitais atômicos mais externos do semicondutor. Esses elétrons desprendidos, em contato com a água e com o O_2 , formam regiões oxidantes e redutoras. Sujidades diversas, orgânicas e inorgânicas, em contato com essas regiões, sofrem degradação eletrônica, dissociando em substâncias mais simples e menos ofensivas, como CO_2 e H_2O . Pesquisadores de diversos países estudam compósitos a base de TiO_2 revestindo superfícies tão diversas quanto rodovias, vidros de janelas e bisturis cirúrgicos. A fotocatalise é um processo bastante interessante, e ambientalmente correto, para inativação de patógenos hospitalares resistentes, como fungos e bactérias, pois dispensa a utilização de antissépticos químicos. Estudou-se neste trabalho, o potencial de fotocatalise de um compósito a base de TiO_2 encapsulado em resina epóxi, na degradação da *Staphylococcus aureus* e da *Escherichia coli*, patógenos com alto grau de contaminação hospitalar, com vistas à sua aplicação na construção civil, como revestimento de pisos, paredes, tetos e mobiliários de instalações hospitalares. Os experimentos se deram com a fabricação de pastilhas somente com resina epóxi e pastilhas com o compósito, em diversas concentrações de TiO_2 e/ou pó de vidro. As pastilhas foram contaminadas com caldo de bactéria e expostas à luz solar e à luz ambiente (solar indireta e lâmpada fluorescente), por determinados períodos. As pastilhas foram lavadas em solução salina estéril. Parte dessa solução foi transferida para placa contendo Mueller Hinton Agar e encubadas por 48 horas. Após esse tempo foi feita a contagem visual do número de UFCs presentes na placa. Os resultados obtidos, principalmente na luz ambiente, indicam potencial capacidade fotodegradante do compósito.

Palavras-chave: Revestimento autolimpante, fotocatalise, fotodegradação, TiO_2 , *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*.

Martins, J. A. L. G. M. Study of photodegradation capacity of a TiO₂-based coating facing the bacterium *Staphylococcus aureus*. MSc Dissertation, College of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2012. 70 p.

ABSTRACT

The photodegradation or photocatalysis is a process of chemical degradation of matter through its decay into other elements molecularly simpler and harmless to humans and the environment. The process of when an inorganic semiconductor such as TiO₂, is irradiated with ultraviolet light (wavelength 320 and 400 nm). The absorbed energy causes electronic excitation, causing electrons to peel off the outermost atomic orbitals of the semiconductor. These electrons detached in contact with the water and the O₂ form oxidizing and reducing regions. Various tarnishes, organic and inorganic, in contact with these regions degrade electronics, dissociating into substances simpler and less offensive, like CO₂ and H₂O. Researchers from various countries studying composites based TiO₂ coating surfaces as diverse as roads, window glazing and surgical scalpels. The photocatalysis is quite an interesting process, and environmentally, for inactivation of resistant nosocomial pathogens, such as fungi and bacteria, since it eliminates the use of chemical antiseptics. Studied in this work, the potential of photocatalysis of a composite base TiO₂ encapsulated in epoxy resin, the degradation of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*, pathogens with high hospital infection, with a view to its application in construction, as floor coverings, walls, ceilings and furniture hospital facilities. The experiments were those with only manufacturing of tablets and lozenges epoxy resin with the composite at various concentrations of TiO₂ and/or glass powder. The pads were contaminated with bacteria broth and exposed to sunlight and ambient light (solar indirect and fluorescent lamp) for certain periods. The pellets were washed in sterile saline. Part of this solution was transferred to plates containing Mueller Hinton Agar and incubated for 48 hours. After this time visual count was made of the number of CFUs in the board. The obtained results, mainly at ambient light, indicate the potential ability of the composite fotodegradante.

Keywords: Self-cleaning coating, photocatalysis, photodegradation, TiO₂, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*.

LÍSTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração de vidro autolimpante Pilkington Activ™	13
Figura 2 – Fachada da Unialgar onde foi instalado o vidro autolimpante BIOCLEAR	14
Figura 3 - Igreja Dives in Misericordia	15
Figura 4 - Rua Borgo Palazzo – Bergamo, Itália.....	16
Figura 5 - Túnel Umberto I – Roma, Itália.....	17
Figura 6 - Tinta StoClimasan Color	19
Figura 7 – Átomo de Silício	25
Figura 8 – Níveis de energia.....	26
Figura 9 – Ligações entre átomos de Silício.....	27
Figura 10 – Bandas de energia	28
Figura 11 – Bandas de energia	28
Figura 12 – Lacuna entre as bandas.....	29
Figura 13 – Situação dos orbitais moleculares de uma partícula de TiO ₂	30
Figura 14 – Migração de um elétron da banda de valência para a banda de condução sob excitação provocada pela irradiação de luz UV.	30
Figura 15 – Formação do radical oxidante hidroxila e radical redutor superóxido	31
Figura 16 - Embalagem do produto Aeroxide TiO ₂ P 25.....	35
Figura 17 – Produção de lama de vidro.....	37
Figura 18 – Pó de vidro seco ao ambiente.....	37
Figura 19 – Pó de vidro seco em estufa.....	38
Figura 20 – Peneira 200.....	38
Figura 21 – Pó de vidro peneirado.....	38
Figura 22 – Espalhamento da mistura resina/TiO ₂ /vidro em papel alumínio.....	39
Figura 23 – Aspecto do espalhamento final e pastilhas estampadas	40
Figura 24 – Processo de moldagem da forma de silicone	41
Figura 25 - Resina epóxi RP 031 e catalizador (endurecedor) RE 043.....	42
Figura 26 – Pesagem da resina, catalisador, TiO ₂ e pó de vidro	42
Figura 27 – Etapas da mistura do TiO ₂ e pó de vidro à resina epóxi	43
Figura 28 – Processo de moldagem das pastilhas.....	44
Figura 29 – Desmoldagem das pastilhas	45
Figura 30 – Os cinco tipos de pastilhas produzidos	45
Figura 31 – Cultivo de <i>Staphylococcus aureus</i> em Mueller Hinton Agar.....	47

Figura 32 – Preparo de caldo de bactéria na turbidez de 0,5 da escala de Mac Farland	48
Figura 33 – Contaminação das pastilhas	48
Figura 34 – Exposição das pastilhas contaminadas à luz solar direta	49
Figura 35 – Metodologia para exposição das pastilhas	49
Figura 36 – Pastilhas transferidas para solução salina estéril.....	50
Figura 37 – Sonificação da pastilha.....	50
Figura 38 – Preparo das placas para encubação	51
Figura 39 – Contagem das colônias.....	51
Figura 40 - Formatação do experimento com <i>Escherichia coli</i>	52
Figura 41 – Formatação do experimento com <i>Staphylococcus aureus</i>	53

LÍSTA DE QUADROS

Quadro 1 – Indicadores da redução na concentração de poluentes devido ao uso de pavimentação em concreto com tecnologia TC Active.....	16
Quadro 2 – Resultado do crescimento de <i>Enterococcus faecalis</i>	18
Quadro 3 - Resultado do crescimento de <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	19
Quadro 4 – Distribuição qualitativa e quantitativa das 168 pastilhas utilizadas	46
Quadro 5 – Contagem das UFCs após primeira exposição à luz solar.....	55
Quadro 6 – Contagem das UFCs após segunda exposição à luz solar	56
Quadro 7 – Contagem das UFCs após terceira exposição à luz solar	58
Quadro 8 – Contagem das UFCs após primeira exposição à luz ambiente.....	59
Quadro 9 – Contagem das UFCs após segunda exposição à luz ambiente	60
Quadro 10 – Contagem das UFCs após a terceira exposição à luz ambiente.....	61
Quadro 11 – Contagem das UFCs após a exposição à luz solar.....	62
Quadro 12 – Contagem das UFCs após a exposição à luz ambiente.....	63
Quadro 13 – Eficiência do compósito após primeira exposição à luz solar do <i>Staphylococcus aureus</i>	64
Quadro 14 – Eficiência do compósito após segunda exposição à luz solar do <i>Staphylococcus aureus</i>	64
Quadro 15 – Eficiência do compósito após a terceira exposição à luz solar do <i>Staphylococcus aureus</i>	65

Quadro 16 – Eficiência do compósito após a primeira exposição à luz ambiente do <i>Staphylococcus aureus</i>	65
Quadro 17 – Eficiência do compósito após segunda exposição à luz ambiente do <i>Staphylococcus aureus</i>	65
Quadro 18 – Eficiência do compósito após terceira exposição à luz ambiente do <i>Staphylococcus aureus</i>	66
Quadro 19 – Eficiência do compósito após exposição à luz solar do <i>Escherichia coli</i>	66
Quadro 20 – Eficiência do compósito após exposição à luz ambiente do <i>Escherichia coli</i>	66
Quadro 22 – Comparação dos resultados entre CONTROLE PN e ROXO P10V na primeira exposição à luz ambiente	67
Quadro 23 - Comparação dos resultados entre o CONTROLE PN e ROXO P10V na segunda exposição à luz ambiente.....	67
Quadro 25 – Custo da pastilha ROXO P10V	69

LÍSTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Representação do Quadro 5.....	55
Gráfico 2 – Representação do Quadro 6.....	57
Gráfico 3 – Representação do Quadro 9.....	58
Gráfico 4 – Representação do Quadro 8.....	59
Gráfico 5 – Representação do Quadro 9.....	60
Gráfico 6 – Representação do Quadro 10.....	61
Grafico 7 – Representação do Quadro 11.....	62
Grafico 8 – Representação do Quadro 12.....	63

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	x
RESUMO.....	vii
ABSTRACT	viii
LÍSTA DE FIGURAS.....	ix
LÍSTA DE QUADROS.....	x
LÍSTA DE GRÁFICOS	xi
SUMÁRIO	xii
CAPÍTULO 1.....	10
INTRODUÇÃO	10
1.1 CONTAMINAÇÃO HOSPITALAR e o <i>Staphylococcus aureus</i>	10
1.2 SUPERFÍCIES AUTOLIMPANTES	12
1.3 A FOTODEGRADAÇÃO EM SERVIÇOS DE SAÚDE	18
1.4 OBJETIVOS	20
1.4.1 Objetivo geral.....	20
1.4.2 Objetivos específicos.....	20
1.5 JUSTIFICATIVAS	20
1.6 ESTRUTURA DO TEXTO	23
CAPÍTULO 2.....	24
2.1 A FOTODEGRADAÇÃO (FOTOCATÁLISE).....	24
2.1.1 Teoria das bandas	24
2.1.1.1 Estrutura atômica.....	25
2.1.2 Fotocatálise (fotodegradação)	29
2.2 DIOXIDO DE TITÂNIO – TiO ₂	32
2.3 PÓ DE VIDRO	33
2.4 CONCEPÇÃO	33
CAPÍTULO 3.....	35
MATERIAIS E MÉTODOS	35
3.1 MATERIAIS UTILIZADOS	35
3.1.1 DIÓXIDO DE TITÂNIO (TiO ₂).....	35
3.1.2 PÓ DE VIDRO	36
3.1.2.1 Preparo do pó de vidro	36

3.1.3	PASTILHAS DE RESINA EPOXI COM TiO ₂ E VIDRO.....	39
3.2	CONTAMINAÇÃO E EXPOSIÇÃO À LUZ	46
3.2.1	MATERIAIS UTILIZADOS	46
3.2.2	MÉTODOS.....	47
CAPÍTULO 4		55
RESULTADOS E ANÁLISE		54
4.1	RESULTADOS	54
4.1.1	<i>Staphylococcus aureus</i> : primeira exposição à luz solar	55
4.1.2	<i>Staphylococcus aureus</i> : segunda exposição à luz solar	56
4.1.3	<i>Staphylococcus aureus</i> : terceira exposição à luz solar.....	57
4.1.4	<i>Staphylococcus aureus</i> : primeira exposição à luz ambiente	58
4.1.5	<i>Staphylococcus aureus</i> : segunda exposição à luz ambiente.....	59
4.1.6	<i>Staphylococcus aureus</i> : terceira exposição à luz ambiente.....	61
4.1.7	<i>Escherichia coli</i> : resultados da exposição das pastilhas contaminadas	62
4.2	ANÁLISE	64
4.2.1	ANÁLISE QUANTITATIVA.....	64
4.2.2	ANÁLISE QUALITATIVA	68
4.2.3	ANÁLISE DE CUSTO	68
4.2.4	ANÁLISE CRÍTICA.....	69
CAPÍTULO 5		107
CONCLUSÃO		107
REFERÊNCIAS		120
ANEXOS		120
ANEXO 1		120

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Neste capítulo abordam-se os aspectos gerais relacionados à contaminação hospitalar e sua ligação com a bactéria *Staphylococcus aureus*, superfícies autolimpantes e fotodegradação, fotodegradação em ambientes de serviço de saúde e ainda apresenta alguns produtos fotodegradantes existentes em escala comercial; define também os objetivos do trabalho.

1.1 CONTAMINAÇÃO HOSPITALAR e o *Staphylococcus aureus*

A contaminação hospitalar é vetor de um grave problema de saúde pública no Brasil e no mundo: a infecção hospitalar. Além dos custos financeiros e sociais, há o risco de disseminação de bactérias resistentes a antibióticos (MELO et al, 2009). De acordo com o Brasil, em 2011, somente para Infecção Primária de Corrente Sanguínea relacionada à Catéter Venoso Central (IPCS/CVC), as ocorrências foram de 4,2 casos para cada grupo de 100 procedimentos. De acordo com o autor, o IPCS/CVC é o único indicador estabelecido pela ANVISA para monitoramento de infecção hospitalar.

Segundo Andrade et al. (2000), um dos fatores para a contaminação hospitalar são os procedimentos de limpeza não eficientes. Os pesquisadores relatam em seu trabalho que as investigações realizadas em 52 colchões, onde foram colhidas 260 amostras antes da limpeza e 260 após a limpeza, resultaram em culturas positivas de diversos patógenos, sendo que 259 corresponderam ao período anterior à limpeza e 255 ao período posterior. Ou seja, houve redução de culturas positivas em apenas 4 placas. Concluíram que os resultados obtidos sugerem que a limpeza, da forma como vem sendo conduzida, provoca o deslocamento da carga microbiana para outros pontos do colchão em vez de diminuí-la.

Carvalho (2005) fez um levantamento da contaminação por *Staphylococcus aureus* nas grades da cama, mesas de cabeceira, maçanetas das portas e nos piso de enfermarias do Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia. No total, 50% das enfermarias estavam contaminadas, sendo que o piso apresentou, quantitativamente, cinco vezes mais contaminação do que as outras superfícies analisadas.

Estudo conduzido por Melo et al. (2009) demonstram que no Brasil os estafilococos com resistência à meticilina/oxacilina situam-se entre os agentes de infecção hospitalar mais frequentes.

Segundo José (2011) alguns profissionais de saúde não levam a sério os cuidados com a biossegurança. Esse pesquisador descreve em relatório técnico, as falhas na biossegurança encontradas no Hospital Universitário São José (Belo Horizonte/MG), em abril de 2011. O Biólogo relata que encontrou, nas enfermarias, resto de curativos, material cirúrgico e resíduos biológicos (sangue) no chão. Além disso, os responsáveis pelo setor não usavam os EPIs obrigatórios como jaleco, toca, luva etc. Observou, também, que os técnicos de enfermagem faziam os seus procedimentos sem lavar as mãos e tocavam em vários pacientes o que facilita a contaminação cruzada. Na janela, as telas não impediam a entrada de mosquitos que são veiculadores de contaminação. As alunas usam maquiagem, unhas pintadas e batom o que facilita a impregnação de microbiotas e veiculação de doenças.

No intuito de contribuir com a correta limpeza e desinfecção de superfícies em serviços de saúde, a Anvisa criou um manual (BRASIL, 2010), com informações detalhadas sobre o tema. Entre os assuntos abordados estão, a finalidade, o objetivo, as superfícies alvo e os produtos, com indicação de uso e desvantagens. Nessa publicação se informa que a correta limpeza e desinfecção tem por finalidade, preparar o ambiente para suas atividades, mantendo a ordem e conservando equipamentos e instalações, evitando principalmente a disseminação de microrganismos. O objetivo é contribuir para prevenir a deterioração de superfícies, objetos e materiais, promovendo conforto e segurança aos pacientes, acompanhantes, funcionários e profissionais de saúde, com otimização de custos.

Ainda de acordo com Brasil (2010), as superfícies em serviços de saúde compreendem: mobiliários, pisos, paredes, divisórias, portas e maçanetas, tetos, janelas, equipamentos para a saúde, bancadas, pias, macas, divãs, suporte para soro, balança, computadores,

instalações sanitárias, grades de aparelho de condicionador de ar, ventilador, exaustor, luminárias, bebedouro, aparelho telefônico e outros.

No Anexo 1, listam-se alguns dos principais produtos de desinfecção utilizados em ambientes de serviços de saúde, suas indicações e desvantagens.

Porém, se esses produtos são necessários para evitar a proliferação de doenças, seu uso traz efeitos secundários indesejados e perigosos, tais como: ressecamento da pele, irritação dos olhos e mucosas e, no caso dos compostos fenólicos, são proibidos em berçários e áreas de contato com alimentos devido à toxicidade oral.

Nessa conjuntura, o desenvolvimento de materiais antimicrobianos de base não farmacológica pode trazer grande contribuição social e ambiental, seja eliminando ou, pelo menos, diminuindo o uso de produtos químicos tão agressivos aos seres humanos e à natureza.

1.2 SUPERFÍCIES AUTOLIMPANTES

Uma forma de destruir agentes infectantes sem o uso de fármacos é submetendo-os a degradação acelerada com o uso de catalisadores incorporados nas superfícies onde estes agentes infectantes estão presentes. Esses catalisadores promovem reações químicas em nível atômico da estrutura celular do agente infectante, interferindo em seu metabolismo e levando-o à morte.

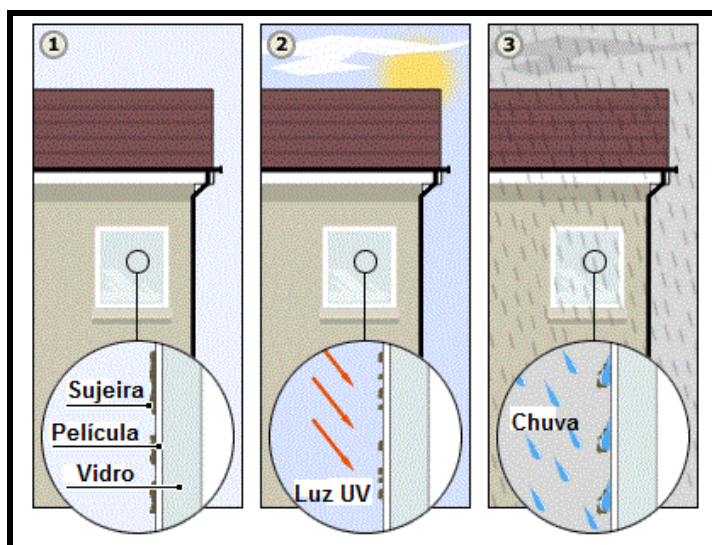
Um catalisador bastante estudado, e inclusive incorporado em produtos produzidos em escala comercial, é o dióxido de titânio (TiO_2). Sua propriedade catalisadora é ativada em presença de luz ultravioleta (comprimento de onda de 320 a 400 nm), por esse motivo é chamado de fotocatalisador. O processo se dá quando os elétrons do fotocatalisador absorvem a energia da luz ultravioleta e se desprendem dos orbitais atômicos mais externos do semicondutor. Esses elétrons desprendidos, em contato com a água e com o O_2 , formam regiões oxidantes e redutoras. Infectantes e sujidades diversas, orgânicas e inorgânicas, em contato com essas regiões, sofrem degradação eletrônica, dissociando em substâncias mais simples e menos ofensivas, como CO_2 e H_2O (ZIOILLI; JARDIM, 1998).

Sistemas de fotodegradação utilizando o TiO_2 como catalisador estão sendo estudados para os mais diversos fins. Na área ambiental, experimentos estão sendo conduzidos para o tratamento de água, tratamento de esgoto, inativação de venenos, decomposição de óleo, entre outros contaminantes (BRITO; SILVA, 2012).

Na construção civil, a utilização de produtos baseados no TiO_2 , é uma realidade produzida em escala comercial, tanto no exterior quanto no Brasil. Vejamos alguns exemplos a seguir.

Um vidro autolimpante desenvolvido pela empresa britânica Pilkington está revolucionando a limpeza de janelas e fachadas. Denominado pela empresa de Pilkington Activ™, seu segredo está na aplicação de uma película de 40 nanômetros (ou 40 milionésimos de milímetro) de dióxido de titânio à superfície do vidro durante o processo de fabricação. Segundo o fabricante, quando a radiação solar ultravioleta entra em contato com a película, uma reação química remove os resíduos orgânicos da superfície. Como a sujeira não adere, basta chover e a limpeza se completa automaticamente (Figura 1). Na falta de chuva, um esguicho de água resolve o problema. O único inconveniente citado à época era o preço do produto, em média 20% mais caro que os outros vidros. Mas o fabricante garante que, como a película nunca perde o efeito, o gasto inicial é compensado pela economia na limpeza (SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2002).

Figura 1 – Ilustração de vidro autolimpante Pilkington Activ™



Fonte: Twist (2004), adaptado pelo autor

Vidro com propriedade semelhante é o BIOCLEAN da Saint-Gobain (SAINT-GOBAIN GLASS, 2009). Esse produto foi instalado em parte da fachada do prédio da Unialgar (Universidade Algar), empresa do grupo Algar, na cidade de Uberlândia/MG em 2002 (Figura 2). O autor dessa dissertação, que em 2010 trabalhou na Algar Telecom, empresa do grupo, buscou informações sobre a economia apurada na manutenção do mesmo, em relação aos custos de manutenção do vidro comum, aplicado em parte da mesma fachada. Porém, como o serviço de limpeza é terceirizado, os responsáveis, que não conheciam vidro com esta propriedade, não sabiam que ele foi instalado no prédio. Assim, limpavam todos da mesma forma.

Figura 2 – Fachada da Unialgar onde foi instalado o vidro autolimpante BIOCLEAN



Fonte: Unialgar (2006)

A empresa italiana Italcementi, patenteou um cimento branco chamado de TX Active. Cimento esse com propriedades fotocatalíticas, para a produção de pinturas, argamassas e concretos fotodegradantes (ITALCEMENTI GROUP, 2009).

O primeiro uso do TX Active foi nos painéis 1, 2 e 3, de concreto, da igreja Dives in Misericordia, em Roma (Figura 3), em 1996. Nos demais painéis dessa igreja foi utilizado cimento branco comum.

Figura 3 - Igreja Dives in Misericordia



Fonte: Italcementi Group (2009), adaptado pelo autor

O principal objetivo nesse caso foi a manutenção da cor branca do concreto. Esse resultado era esperado devido à propriedade de autolimpeza do TX Active. Monitoramentos em 2007 mostram que os painéis mantiveram o mesmo padrão de cor da época da fabricação, em 1996. Isso não ocorreu nos painéis utilizando cimento branco comum. O monitoramento utilizou o sistema CIELAB.

➤ *CIELAB: modelo colorimétrico desenvolvido pela Comissão Internacional da Iluminação (CIE). O modelo La^*b^* define uma cor por três valores:*

- o *L, a luminância, expressa em porcentagem (de 0 para o preto a 100 para o branco);*
- o *a e b, duas gamas de cor que vão respectivamente do verde ao vermelho e do azul ao amarelo com valores que vão de -120 a +120;*
- o *o modelo cobre a integralidade do espectro visível pelo olho humano e representa-o de maneira uniforme. Permite, por conseguinte descrever o conjunto das cores visíveis, independentemente de qualquer tecnologia gráfica.*

Animada com os resultados, a empresa Italcementi partiu para outros experimentos, dentre eles:

Rua Borgo Palazzo – Bergamo, Itália (Figura 4).

Substituição, em 2006, de 500 m (7.000 m²) de pavimento asfáltico, por blocos de concreto com tecnologia TX Active, com o objetivo de reduzir a concentração de poluentes. Durante cinco dias foram monitoradas as concentrações de óxidos de nitrogênio provenientes dos carros, em dois trechos da rua: um com asfalto e outro com TX Active.

Figura 4 - Rua Borgo Palazzo – Bergamo, Itália



Fonte: Italcementi Group (2009)

No quadro 1 mostram-se os resultados encontrados. Considerando os 500 m do trecho, com um tráfego de 400 carros/h, a tecnologia TX Active produziu resultados ambientais como se retirasse de circulação 150 carros/h.

Quadro 1 – Indicadores da redução na concentração de poluentes devido ao uso de pavimentação em concreto com tecnologia TC Active.

altura sobre o solo	concentração no pavimento fotocatalítico		concentração no pavimento existente (referencia)		porcentagem de redução	
	NO _x	NO	NO _x	NO	NO _x	NO
30 cm	250 ppb	194 ppb	336 ppb	270 ppb	30 %	33 %
180 cm	260 ppb	201 ppb	316 ppb	248 ppb	20 %	20 %

Fonte: Italcementi Group (2009), adaptado pelo autor

Túnel Umberto I – Roma, Itália (Figura 5).

Em agosto de 2007 o túnel foi tratado com uma pintura cimentícia à base de TX Active. Foram 9000 m² de superfície (parede e teto) recoberta. Um novo sistema de iluminação, que combina luz visível com luz UV, também foi instalado. Dois monitoramentos foram procedidos no túnel, um antes do tratamento com pintura à base de TX Active e outro depois do tratamento. Cada período durou três semanas.

Figura 5 - Túnel Umberto I – Roma, Itália



Fonte: Italcementi Group (2009), adaptado pelo autor

Os dados coletados foram:

- Valores de NO_x (NO, NO_x e NO₂);
- Condições do tempo (temperatura, umidade relativa, pressão atmosférica e velocidade do vento) e, algumas vezes, as condições de luz dentro e fora do túnel (UVA, UVB, RAD, Lux);
- Situação do trânsito, veículos/h.

Os resultados demonstraram que, após a pintura com TX Active, os poluentes analisados reduziram-se nas seguintes porcentagens: NO, redução de 25%; NO_x, redução de 23%; NO₂, redução de 19%.

1.3 A FOTODEGRADAÇÃO EM SERVIÇOS DE SAÚDE

Um novo uso para o TiO_2 já é realidade (SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, 2006): o combate às infecções hospitalares. Uma fina camada de um material cerâmico à base de óxido de titânio agrega propriedades bactericidas e antimicrobianas à superfície de instrumentos médicos e odontológicos como bisturis, pinças e brocas. O material foi desenvolvido no Laboratório Interdisciplinar de Eletroquímica e Cerâmica (Liec) do Instituto de Química da Universidade Estadual Paulista (Unesp) em Araraquara.

Porém, um estudo conduzido na UNESPE (PORTO et al, 2011) demonstra que a tecnologia ainda carece de aprimoramentos. No experimento os pesquisadores utilizaram espátulas odontológicas revestidas com uma ou três camadas de dióxido de titânio (TiO_2) com 5% de prata. O revestimento foi realizado pela firma NANOX Tecnologia S/A, do Centro Multidisciplinar para Desenvolvimento de Materiais Cerâmicos (CMDMC), um dos dez Centros de Pesquisa de Inovação e Difusão (CEPID) da FAPESP. As espátulas foram contaminadas e expostas à luz branca e à luz UV, por determinados períodos.

Todos os testes realizados com microorganismo *Enterococcus faecalis* foram positivos para crescimento das bactérias, independentemente do tipo de revestimento e tipo de luz (Quadro 2).

Nos testes realizados com o microorganismo *Pseudomonas aeruginosa*, verificou-se crescimento positivo com exposição à luz branca e crescimento negativo com exposição à luz UV, independentemente do recobrimento ser uma ou três camadas (Quadro 3).

Quadro 2 – Resultado do crescimento de *Enterococcus faecalis*

Fotocatálise heterogênea da <i>Enterococcus faecalis</i> em instrumentais odontológicos revestidos com nanopartículas de dióxido de titânio e prata (coating) com 120 minutos de exposição à luz branca e à luz UV								
Exposição à luz	1 Camada recobrimento Nanox A				3 Camadas recobrimento Nanox B			
Leitura do teste	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas
Luz branca	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
Luz UV	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo

Fonte: Porto et al (2011)

Quadro 3 - Resultado do crescimento de *Pseudomonas aeruginosa*

Fotocatálise heterogênea da *Pseudomonas aeruginosa* em instrumentais odontológicos revestidos com nanopartículas de dióxido de titânio e prata (*coating*) com 120 minutos de exposição à luz branca e à luz UV

Exposição à luz	1 Camada recobrimento Nanox A				3 Camadas recobrimento Nanox B			
	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas	24 horas	48 horas	72 horas	96 horas
Luz branca	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
Luz UV	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Fonte: Porto et al (2011)

Também na área de controle de infecções, a empresa alemã STO (2011), desenvolveu a tinta StoClimasan Color, que é aplicada normalmente como qualquer tinta látex comum (Figura 7). Também à base de TiO_2 , promete efeito fotocatalítico sobre bactérias, fungos e odores.

Figura 6 - Tinta StoClimasan Color



Fonte: Sto (2011)

Com as considerações apresentadas, percebe-se que a preocupação com o desenvolvimento de produtos fotodegradantes, é mundial. A necessidade de eliminar ou reduzir a quantidade de contaminantes que são produzidos, por exemplo, pelos veículos, ou que existem naturalmente, como as bactérias, aumenta, à medida que a concentração desses contaminantes também aumenta. O desenvolvimento de novos produtos, mais eficientes, mais baratos e mais duráveis são fatores determinantes para a popularização de seu uso.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi estudar a capacidade de um compósito a base de TiO_2 , encapsulado em resina epóxi, em degradar a bactéria *Staphylococcus aureus* por fotocatalise, e indicar a condição (composição + tempo de exposição) mais eficiente do ponto de vista da degradação. A finalidade deste compósito, na construção civil, é revestir superfícies de serviços de saúde quaisquer como tetos, paredes, pisos, maçanetas, camas, bancadas, pias, etc., como vista a assepsia do ambiente, reduzindo o uso de desinfetantes químicos.

1.4.2 Objetivos específicos

Verificar o efeito fotocatalítico (fotodegradador) de um compósito a base de resina epóxi, exposto à luz solar direta e à luz de um ambiente interno (luz solar indireta e luz de lâmpada fluorescente), ao longo de uma hora, com amostras retiradas a cada 15 minutos, com as seguintes composições:

- 5% em massa da resina epóxi de TiO_2 ;
- 5% de TiO_2 e 5% de pó de vidro, ambos em massa da resina epóxi;
- 10% em massa da resina epóxi de TiO_2 ;
- 10% de TiO_2 e 10% de pó de vidro, ambos em massa da resina epóxi.

Os percentuais de TiO_2 adotados foram baseados no trabalho de Santos e Kondo (2006). Em seu experimento para fotodegradação de clorofórmio e fenol, as pesquisadoras utilizaram 7,5% de TiO_2 , em massa, em relação à resina epóxi.

1.5 JUSTIFICATIVAS

Este trabalho busca estudar o potencial de fotodegradação de um compósito para ser usado como revestimento de superfícies em serviços de saúde que, além da capacidade fotocatalisadora, seja durável, de fácil manutenção e ambientalmente correto.

Por esses motivos, é que foram escolhidos o dióxido de titânio, o pó de vidro e a resina epóxi para compor o compósito. Cada um tem uma propriedade que agrega ou melhora uma, ou mais, das quatro qualidades apontadas.

A questão ambiental é facilmente observada já na primeira consequência da fotodegradação: redução no uso de produtos químicos de desinfecção pelos serviços de saúde.

A segunda abordagem ambientalmente correta do compósito, é que nele pode ser incorporado um pó de vidro que é resíduo da indústria vidraceira. Esse resíduo não tem valor comercial, porém, no compósito ele pode aumentar a capacidade fotodegradante. Estudos conduzidos por Chen e Poon (2009) mostram melhoria significativa na atividade fotocatalítica de um concreto fotocatalítico, à base de TiO_2 , devido ao uso de vidro como agregado desse concreto.

A facilidade de manutenção do revestimento se deve ao veículo no qual o TiO_2 é encapsulado: a resina epóxi. Conforme exposto, a fotocatalise ocorre somente se o contaminante estiver em contato direto com o TiO_2 . Os produtos citados neste trabalho perdem rapidamente a capacidade fotocatalítica assim que se forma uma camada de poluente sobre sua superfície. O concreto da igreja Dives in Misericordia, os blocos da rua Borgo Palazzo e a pintura cimentícia do túnel Umberto I, logo perderiam a fotodegradabilidade se não fossem constantemente lavados. Acontece que a superfície destes materiais é rugosa, dificultando a limpeza. Mesmo a tinta, não é facilmente limpa com pano ou esponja. Por outro lado, a resina produz um acabamento liso, vidrado, que é facilmente limpo com um pano ou esponja.

A vida útil do produto é outro fator a avaliar. Em todos os produtos à base de cimento, o gás carbônico do ambiente reage com os componentes do cimento formando o carbonato de cálcio e reduzindo o pH do concreto. Este fenômeno é chamado de carbonatação do concreto. Lackhoff et al (2003) estudaram a capacidade fotocatalítica de argamassas à base de cimento e concluíram que a carbonatação reduz a eficácia da mesma.

As tintas, apesar de fácil aplicação, possuem pequena espessura micrometros (0,05 a 0,06 mm em duas demãos) e baixa resistência à abrasão. Desta forma, qualquer atrito na parede pode descascar a tinta. Neste ponto a superfície perderá a capacidade fotocatalítica.

O compósito será aplicado em camadas de um a dois milímetros. Ou seja, de 20 a 40 vezes mais espessa que as tintas. Como o TiO_2 está distribuído em toda a espessura do revestimento, um atrito que esfole o revestimento, somente exporá uma nova superfície fotocatalítica.

Além disso, Chatterjee e Islam (2008) demonstraram que, um nanocompósito a base de epóxi e TiO_2 têm as propriedades de temperatura de transição vítrea, módulo de elasticidade, módulo de flexão e cisalhamento, melhoradas em relação à resina epóxi pura. Isto ressalta a compatibilidade entre o epóxi e o TiO_2 .

A eficiência da capacidade fotocatalítica depende diretamente da luz UV. Em ambientes internos, a irradiação solar é menos intensa. Desta forma a eficiência do produto cai. Porém, Maier et al. (2005), mostraram que, mesmo em ambiente interno a luz natural consegue elevados níveis de degradação de poluentes atmosféricos. Em seu trabalho, eles revestiram as paredes de alguns quartos na Suécia, com argamassa de gesso contendo 10% de TiO_2 . As análises demonstraram redução da concentração dos compostos orgânicos voláteis (COVs) para 1/3, em relação aos quartos que não foram revestidos.

Esta talvez seja também uma qualidade do compósito alvo desta pesquisa. Porém, neste momento, isso não será avaliado.

Desta forma o presente trabalho propõe a realização de experimentos voltados à utilização do dióxido de titânio encapsulado em uma massa epóxi para revestimento de objetos com ênfase a criar condições de salubridade em ambientes de saúde.

O estudo foi conduzido com foco na fotodegradação da bactéria *Staphylococcus aureus* por, conforme já descrito, ser um patógeno de grande incidência em serviços de saúde. Porém, durante os experimentos, a equipe resolveu ensaiar uma bactéria de família diferente do *Staphylococcus*, que possui morfologia também diferente. Dessa forma,

procedeu-se um estudo de fotodegradação com a bactéria *Escherichia coli*. Com a bactéria *Staphylococcus aureus*, foram previstos e realizados três estudos.

1.6 ESTRUTURA DO TEXTO

Este trabalho é constituído de seis capítulos, organizados da seguinte maneira:

- Capítulo 1: aborda os aspectos gerais relacionados à contaminação hospitalar e sua ligação com a bactéria *Staphylococcus aureus*, superfícies autolimpante e fotodegradação, fotodegradação em ambientes de serviço de saúde; apresenta alguns produtos fotodegradantes produzidos em escala comercial e também os objetivos e justificativas do trabalho.
- Capítulo 2: contém a revisão sobre as teorias que embasam a fotocatalise e discorre sobre o que é o TiO_2 e o pó de vidro.
- Capítulo 3: abrange os materiais e métodos empregados e descreve a realização dos experimentos.
- Capítulo 4: apresentam-se os resultados e a análise dos mesmos.
- Capítulo 5: conclusão.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo apresentam-se as considerações necessárias ao entendimento do fenômeno da fotodegradação, iniciando pela revisão da estrutura de um átomo, percorrendo sobre os orbitais atômicos, explicando a teoria das bandas e a lacuna entre elas, até expor os processos que deflagram a fotodegradação.

2.1 A FOTODEGRADAÇÃO (FOTOCATÁLISE)

A fotodegradação ou fotocatalise é fenômeno pertencente à classe dos processos oxidativos acelerados (POA). O processo consiste na irradiação de um fotocatalisador, geralmente um semicondutor inorgânico como o TiO_2 , com energia suficiente para provocar uma excitação eletrônica. Assim, sob irradiação, um elétron é movido, entre os orbitais atômicos, da banda de valência para a banda de condução, formando regiões oxidantes e redutoras capazes de catalisar reações químicas, transformando diversos tipos de compostos orgânicos em CO_2 e H_2O .

Para explicar o mecanismo de fotocatalise, pode-se aproveitar as explicações de Malvino (1995) e de Zioli (1998). O primeiro explica a teoria das bandas. O segundo teoriza o que ocorre nestas bandas que promove a fotocatalise.

2.1.1 Teoria das bandas (MALVINO, 1995)

Segundo Malvino (1995) quando átomos isolados se unem para formar um elemento químico qualquer, a proximidade dos elétrons de átomos diferentes, influencia na orbita de

cada elétron. Com isso, os elétrons passam a circular de forma irregular, dentro de uma determinada faixa. Essa faixa também é chamada de banda.

2.1.1.1 Estrutura atômica (será utilizado o átomo de silício e o modelo de Bohr):

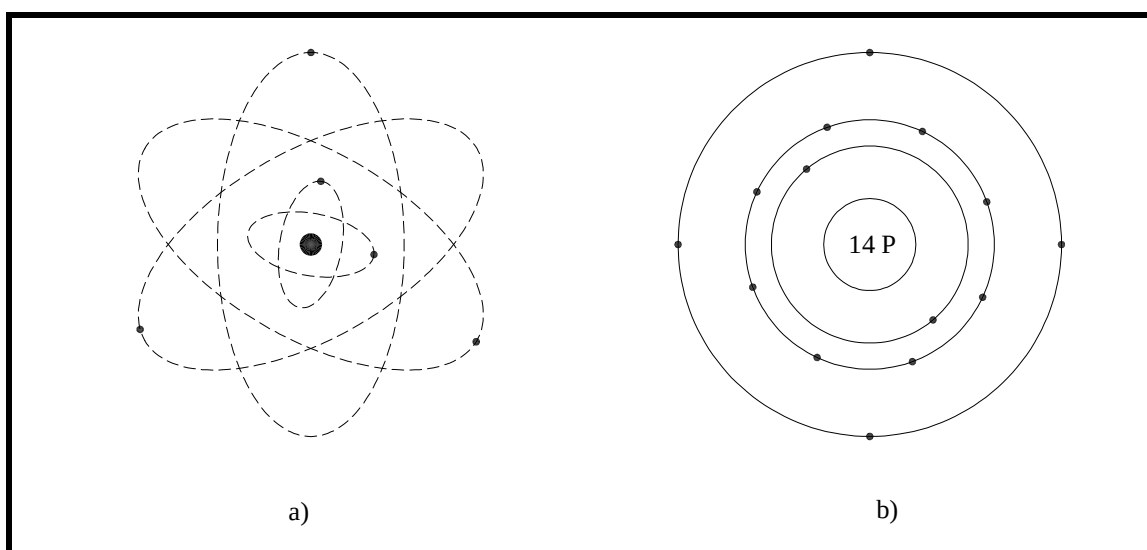
Figura 7 (a):

- Átomo: núcleo rodeado por elétrons em órbita.
- Núcleo com carga positiva associada aos prótons.
- O elétron descreve uma órbita estável com exatamente a velocidade certa para que a força centrífuga equilibre a atração nuclear.

Figura 7 (b):

- Átomo isolado de Silício.
- 14 prótons e 14 elétrons.
- Órbitas estáveis
 - o Primeira: 2 elétrons.
 - o Segunda: 8 elétrons.
 - o Terceira (órbita externa ou órbita de valência): 4 elétrons.
- Átomo tetravalente, isto é, 4 elétrons na órbita de valência.

Figura 7 – Átomo de Silício



Fonte: Malvino (1995)

Níveis de energia

Figura 8 (a):

- Somente certas órbitas (níveis de energia) são permitidas.

Figura 8 (b):

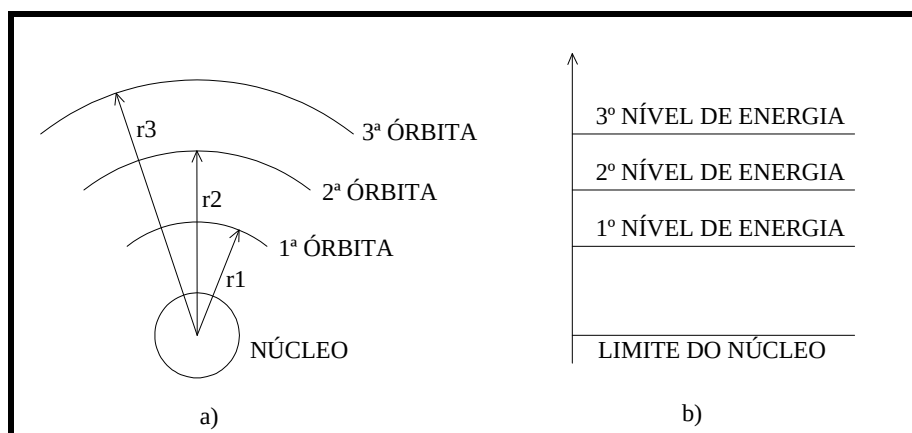
- Quanto maior a órbita do elétron, mais alto é o seu nível de energia potencial em relação ao núcleo.

Se o átomo for bombardeado por energia externa (calor, luz ou outra radiação), um dos elétrons pode ser elevado a um nível de energia mais alto (órbita maior).

O átomo estará, então, no estado de excitação.

Este estado não dura muito porque o elétron energizado logo volta ao seu nível de energia original, devolvendo a energia adquirida na forma de calor, luz ou outra radiação.

Figura 8 – Níveis de energia



Fonte: Malvino (1995)

Cristais

Um átomo de silício isolado possui quatro elétrons na sua órbita de valência, porém, para ser quimicamente estável, precisa de oito elétrons.

Combina-se então com outros átomos de forma a completar os outros elétrons na sua órbita de valência (Figura 9 (a)).

Quando os átomos de silício se combinam entre si para formar um sólido, eles se arranjam numa configuração ordenada denominada cristal.

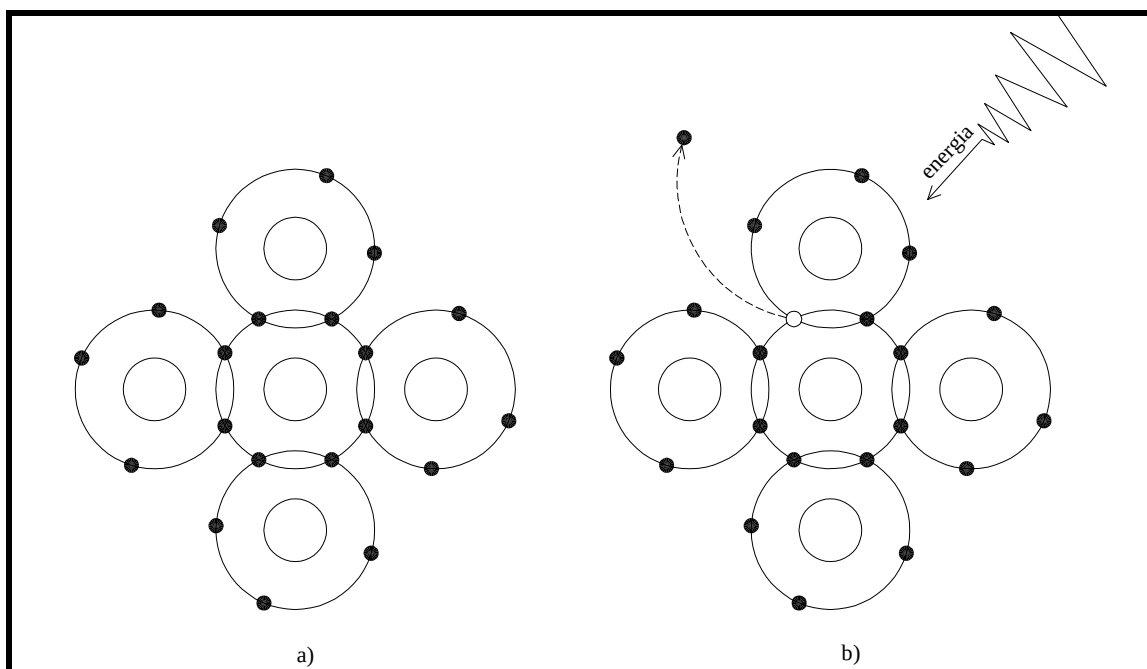
No cristal, o átomo de silício posiciona-se entre outros quatro átomos de silício. Cada átomo vizinho compartilha um elétron com o átomo central.

O átomo central passa a possuir então oito elétrons na órbita de valência.

Malvino (1995) afirma: “...Existem equações matemáticas avançadas que explicam parcialmente por que oito elétrons produzem a estabilidade química em diferentes materiais, mas nenhuma sabe na verdade por que o número oito é tão especial. É uma das leis experimentais, como a lei da gravidade...”.

Se uma energia externa eleva o elétron de valência a um nível energético mais alto (órbita maior), o elétron que sai deixa uma vacância na órbita mais externa (Figura 9 (b)).

Figura 9 – Ligações entre átomos de Silício



Fonte: Malvino (1995)

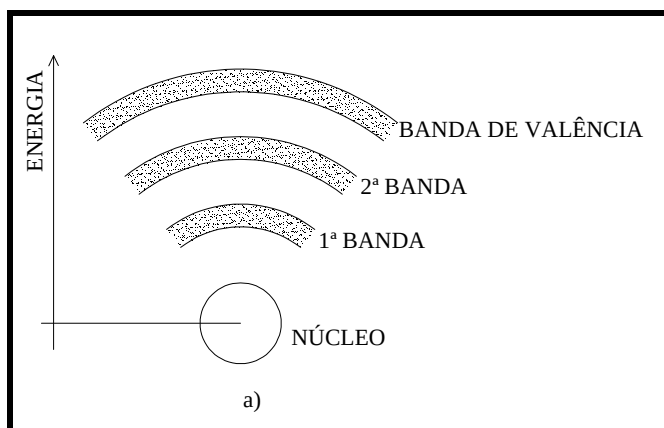
Bandas de energia

Quando os átomos de silício se combinam para formar um cristal, a órbita de um elétron

sofre a influência das cargas dos átomos adjacentes. Esta influência afeta o nível de energia de cada elétron. Assim a órbita de cada elétron é modificada.

Os níveis de energia associados às órbitas formam nuvens ou bandas (Figura 10).

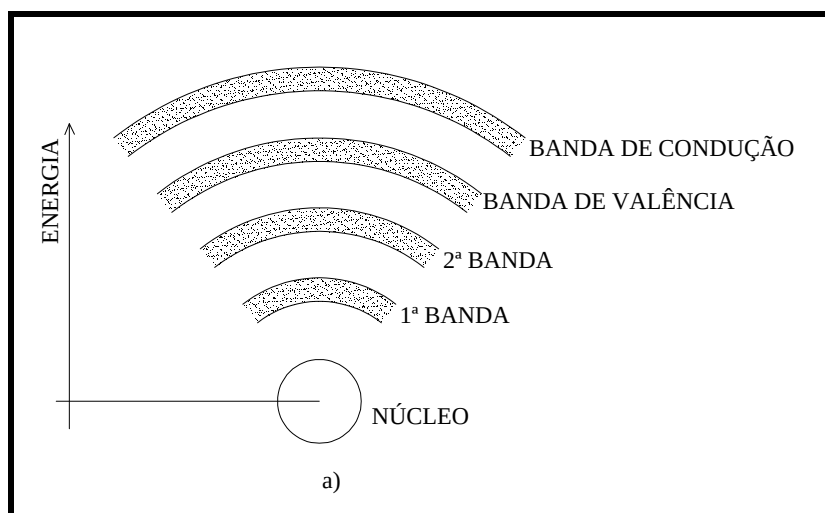
Figura 10 – Bandas de energia



Fonte: Malvino (1995), adaptado pelo autor

Quando um elétron da banda de valência (orbital mais externo) recebe uma energia tal que o faz saltar deste orbital, ele vai para uma região chamada banda de condução (Figura 11), onde esta sem nenhuma ou pouquíssima influencia do núcleo. Assim a órbita de cada elétron é modificada.

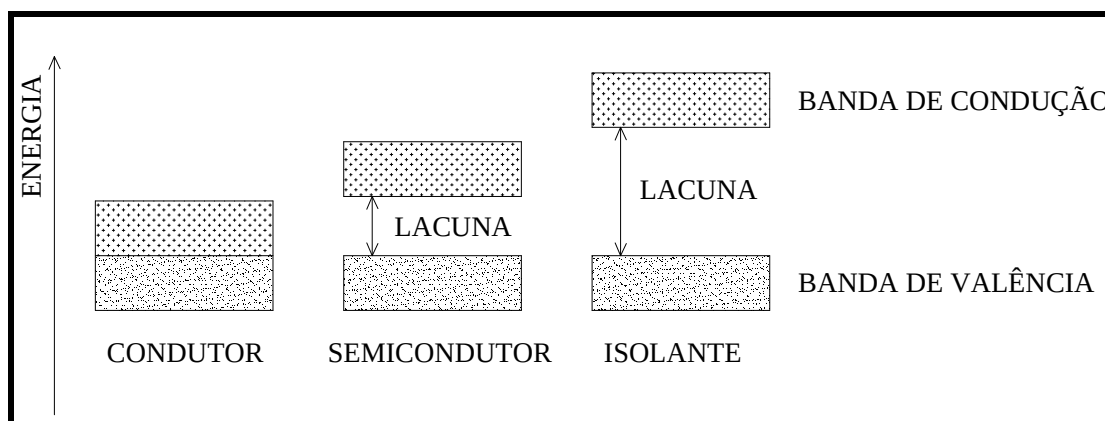
Figura 11 – Bandas de energia



Fonte: Malvino (1995), adaptado pelo autor

Entre a banda de valência e a banda de condução existe uma distância (lacuna) que varia entre os diversos elementos (Figura 12).

Figura 12 – Lacuna entre as bandas



Fonte: Malvino (1995), adaptado pelo autor

Elementos como os metais, são chamados de condutores de energia. Nesses, a distância (lacuna) entre a banda de valência e a banda de condução é muito pequena ou inexistente. Assim, a energia necessária para que um elétron salte da banda de valência para a banda de condução é muito pequena.

Elementos como a borracha, são chamados de isolantes. Nestes, a lacuna entre a banda de valência e a banda de condução é muito grande. Desta forma, a energia necessária para que um elétron salte da banda de valência para a banda de condução é muito grande.

Há um terceiro grupo de elementos, chamados de semicondutores, onde a lacuna entre a banda de valência e a banda de condução é tal que, sob determinada energia, o tempo que o elétron leva para executar o salto (medido em nanosegundo), propicia reações químicas com elementos externos ao átomo, como a água e o oxigênio, que conduzem a degradação de contaminantes em contato com o semicondutor.

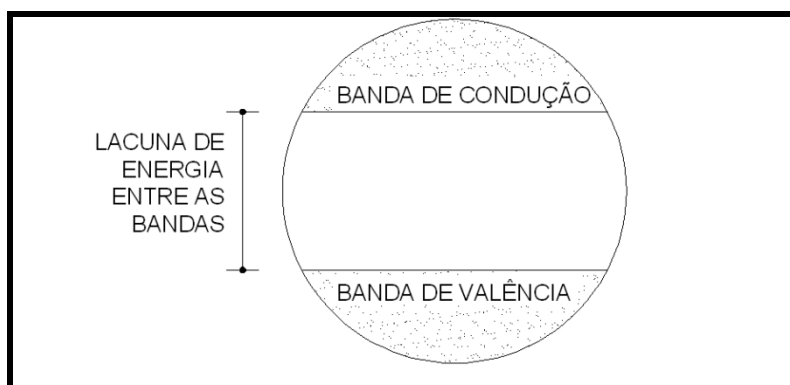
2.1.2 Fotocatálise (fotodegradação)

De acordo com Ziolli (1998), esquematicamente pode-se entender as reações químicas que ocorrem na lacuna de um semicondutor, conforme exposto nas Figuras 13, 14 e 15. As

figuras, em escala nanométrica, mostram a migração de elétrons da banda de valência para a de condução.

Na Figura 13 mostra-se a situação desses orbitais antes da exposição à luz UV. Neste caso não há migração de elétrons de uma banda para outra.

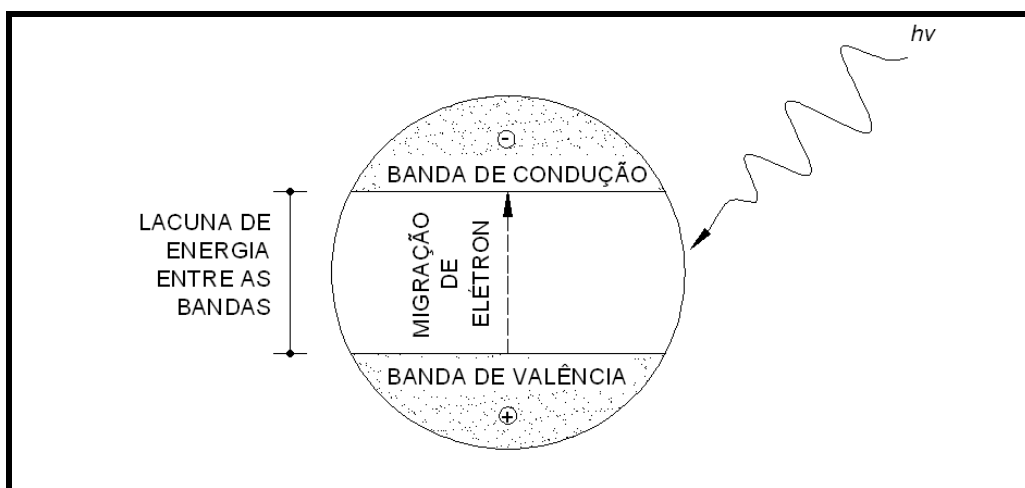
Figura 13 – Situação dos orbitais moleculares de uma partícula de TiO_2 antes da exposição à luz UV.



Fonte: Ziolli (1998), adaptado pelo autor

Na Figura 14 mostra-se que, sob a excitação provocada pela incidência de luz UV, um elétron da banda de valência migra para a banda de condução, tornando estas bandas eletricamente instáveis.

Figura 14 – Migração de um elétron da banda de valência para a banda de condução sob excitação provocada pela irradiação de luz UV.

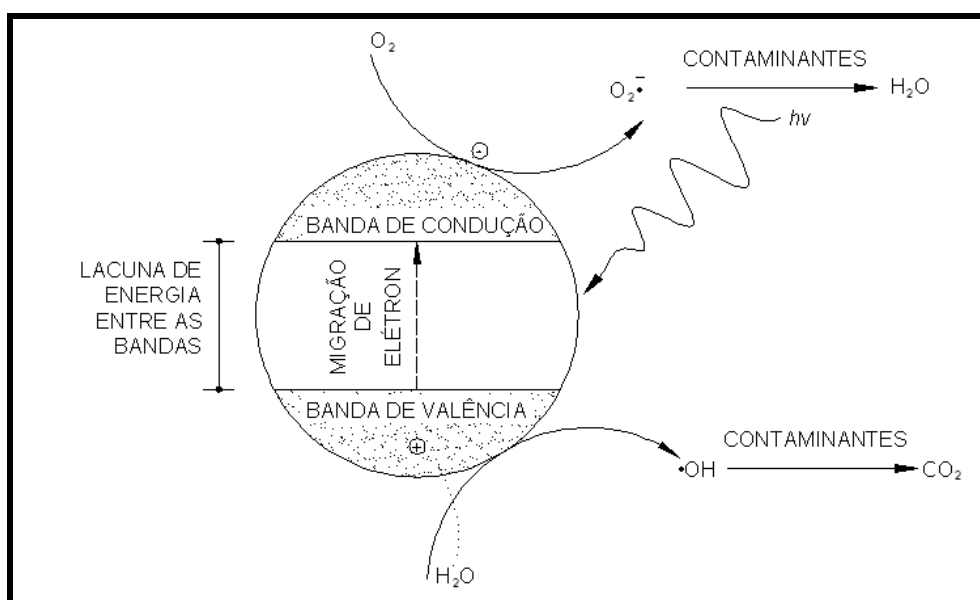


Fonte: Ziolli (1998), adaptado pelo autor

N Figura 15 mostra-se a formação de radicais hidroxila pelo sequestro de um elétron da molécula de H_2O na banda de valência, e a formação de radicais superóxidos pela incorporação, pelo O_2 , do elétron excedente na banda de condução. Desta forma, as bandas voltam para a condição inicial, e podem repetir o ciclo indefinidamente.

Em condições ideais, os contaminantes, ao final de toda reação química formariam H_2O e CO_2 .

Figura 15 – Formação do radical oxidante hidroxila ($\bullet OH$) e radical redutor superóxido ($O_2\bullet^-$) que, reagindo com contaminantes, em condições ideais, formariam H_2O e CO_2 .



Fonte: Ziolli (1998), adaptado pelo autor

Este é o mecanismo básico da fotocatálise. Os processos intermediários são mais complexos e geram divergências entre os pesquisadores.

Mecanismo da morte celular

Blake (1999) relata vários mecanismos possíveis para a morte da célula por processo fotocatalítico.

Ele relata um experimento onde a levedura *S. Cereviaiae* foi exposta a uma lâmpada de iodeto metálica sob um substrato contendo TiO_2 e outro substrato neutro. Após 120

minutos, mais de 97% de uma enzima intracelular foi perdida na levedura exposta ao substrato com TiO_2 , em comparação com uma perda de 42% no substrato neutro. No mesmo experimento, a atividade respiratória diminuiu 58% nas leveduras expostas ao TiO_2 . A perda da enzima intracelular foi apontada com a causa da morte celular.

Outro experimento relatado por Blake (1999) demonstra provas do rompimento da parede da célula e fuga do conteúdo celular. A exposição do *Streptococcus sobrinus* AHT à iluminação com TiO_2 propiciou, após 3 minutos, fuga de ions de potássio da célula. A fotoatividade do TiO_2 , interferiu na semipermeabilidade da parede celular e concluiu para sua morte.

Blake (1999) ainda narra um experimento que tinha por objetivo evidenciar a destruição do E. Coli. Para isso mediu-se a liberação de endotoxinas para o meio em um experimento em que a E. Coli foi submetida ao TiO_2 e à luz. O endotoxina é um lipopolissacárido que reside na membrana exterior do E. coli. Dessa forma, a liberação de endotoxinas para o meio é indicador de destruição da membrana celular. O experimento também constatou a posterior degradação dos compostos tóxicos liberados para o meio.

Os principais componentes das membranas celulares são os fosfolipídios. Esses sofrem facilmente processos oxidativos. Uma vez que a membrana celular esteja comprometida, todo o citoplasma também estará.

2.2 DIOXIDO DE TITÂNIO – TiO_2

No presente trabalho, o semicondutor escolhido foi dióxido de titânio. Mais precisamente o AEROXIDE TiO_2 P 25 fabricado pela Evonik (antiga Degussa). Esse produto é o mais utilizado pelos pesquisadores de fotocatalise devido a sua estabilidade química, insolubilidade, fotoestabilidade e baixíssima ou nenhuma toxicidade (dados do fabricante). Também, de acordo com o fabricante, o produto contém, no mínimo, 99.5% de TiO_2 .

Na natureza o titânio é geralmente encontrado em três formas diferentes do mesmo óxido (TiO_2): o rutilo (a mais comum), anatase e bruquita.

Há consenso entre os pesquisadores que a bruquita não possui atividade fotocatalítica.

Alguns entendem que somente a forma anatase possui esta propriedade. Porém outros entendem que o rutilo também é fotocatalítico (PEIXOTO, 2006).

No AEROXIDE TiO₂ P 25 a proporção de anatase/rutilo é de aproximadamente 85/15 (dados do fabricante).

A reconhecida fotoatividade do AEROXIDE TiO₂ P 25 pode estar relacionada com sua altíssima área específica (BICKLEY et al, 1991), que, segundo o fabricante, é de 15 m²/g. A título de comparação, a do cimento é de aproximadamente 0,3 m²/g.

2.3 PÓ DE VIDRO

Na produção do vidro temperado, as arestas das placas de vidro plano são lapidadas para que fiquem arredondas. O pó de vidro gerado neste processo, não tem valor comercial e é normalmente entregue gratuitamente à indústria de fundição de vidro para reciclagem.

O uso de vidro é corroborado por Chen e Poon (2009) da Universidade Politécnica de Hong Kong. Os pesquisadores utilizaram resíduos triturados de vidro reciclado derivados de garrafas de bebidas para substituir a areia na preparação das camadas superficiais de um concreto fotocatalítico baseado no TiO₂. Os resultados mostraram uma melhoria significativa da atividade fotocatalítica devido ao uso do vidro como agregado de concreto. As amostras fabricadas com vidro apresentaram três vezes mais eficiência de remoção de óxidos de nitrogênio (danosos gases poluentes emitidos por motores de combustão interna) em comparação com as amostras fabricadas com areia de rio. A propriedade de transmissão luminosa do vidro foi postulada para explicar a melhoria da eficiência, o que foi confirmado por um estudo de simulação em separado.

2.4 CONCEPÇÃO

De acordo com a revisão bibliográfica aqui apresentada depreende-se que:

- a fotocatalise é um processo real, de media dificuldade de implantação, comprovadamente eficaz como agente antibacteriano e desintoxicante;
- o TiO₂ é comprovadamente um bom agente fotocatalítico;
- o pó de vidro é um resíduo em que comprovando sua contribuição no processo fotocatalítico, dará destinação nobre a um elemento atualmente sem valor comercial;

- a resina epóxi tem a dureza necessária à aplicação proposta e é compatível com os outros elementos do experimento.

Com isso, definiu-se o planejamento experimental dessa dissertação, com o intuito de verificar a eficácia do uso do TiO_2 e do pó de vidro em um compósito com capacidade fotodegradante, a fim de revestir superfícies de serviços em saúde, potencializando seu emprego na construção civil.

No próximo capítulo apresentam-se os materiais e métodos empregados.

CAPÍTULO 3

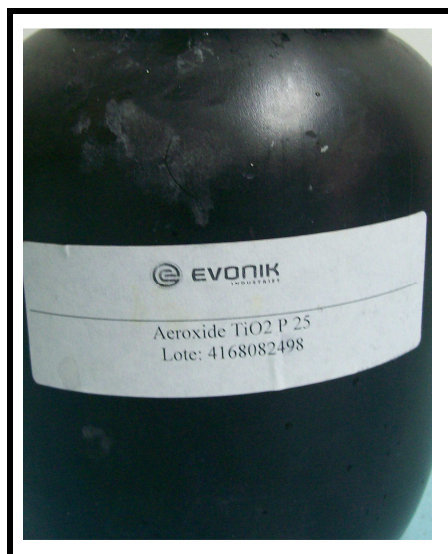
MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS

3.1.1 DIÓXIDO DE TITÂNIO (TiO_2)

O dióxido de titânio escolhido foi o mesmo utilizado por Santos e Kondo (2006): o P25 da empresa Degussa. A Degussa foi encampada pela empresa Evonik. A Evonik do Brasil demorou 8 meses para importar o material da matriz alemã. Na figura 16, ilustra-se a embalagem do produto, que tem o nome comercial de Aeroxide TiO_2 P 25.

Figura 16 - Embalagem do produto Aeroxide TiO_2 P 25.



Fonte: autor

3.1.2 PÓ DE VIDRO

No processo de produção do vidro temperado, o vidro cristal comum, que normalmente é fabricado em placas de 3,2 x 2,2 metros, é cortado nas dimensões necessárias, e suas arestas cortantes passam por processo de desbaste, a fim de tornar as bordas do vidro arredondadas. Este processo é chamado de lapidação e é feito sob refrigeração com água.

O efluente deste processo segue para tanque de decantação, onde o pó de vidro fica depositado e a água é reutilizada.

Periodicamente o decantador é limpo e o resíduo ali depositado segue para reciclagem.

O resíduo utilizado neste experimento foi doado pela empresa Vitral, mediante apoio do Engenheiro da empresa, Fábio Braga.

As características físicas desse elemento estão bem descritas no trabalho de Salomão et al. (2010). Os autores utilizaram a mesma amostra do resíduo de vidro utilizada neste experimento, para estudar o comportamento em argamassas cimentícias.

3.1.2.1 Preparo do pó de vidro

O resíduo de vidro ao se depositar no decantador sofre um processo natural de sedimentação. Desta forma, para retirar o material, é necessário o uso de pá e picareta. Assim, o resíduo é extraído petrificado, em blocos de vários tamanhos.

Para separar o material mais fino do material petrificado, o mesmo foi colocado em água (figura 17) e agitado vigorosamente. A lama assim produzida foi passada na peneira 200.

Parte da lama peneirada foi seca ao ambiente e parte foi seca em estufa.

A lama seca ao ambiente apresentou-se bastante fina e solta (figura 18). A lama seca em estufa formou grumos na superfície (figura 19). Apesar disto optou-se por utilizar o material seco em estufa, passando novamente pela peneira 200 (figura 20).

O material passante resultou em um pó extremamente fino (figura 21). Considerando que a malha desta peneira é de 0,075 mm, este é o tamanho máximo da partícula do pó de vidro. A título de comparação, a granulometria média do TiO_2 é, conforme fabricante, 21 nm, ou seja, 0,000021 mm.

Apesar do curto tempo de manipulação do pó de vidro, foram utilizados luva de borracha e máscara.

Figura 17 – Produção de lama de vidro



Fonte: autor

Figura 18 – Pó de vidro seco ao ambiente



Fonte: autor

Figura 19 – Pó de vidro seco em estufa



Fonte: autor

Figura 20 – Peneira 200



Fonte: autor

Figura 21 – Pó de vidro peneirado



Fonte: autor

3.1.3 PASTILHAS DE RESINA EPOXI COM TiO_2 E VIDRO

Existem no mercado, diversas formulações de resina epóxi, com diferentes características de dosagem, viscosidade e acabamento final.

Seu uso na indústria é bastante versátil. Ela é usada como isolador, encapsulante e adesivo.

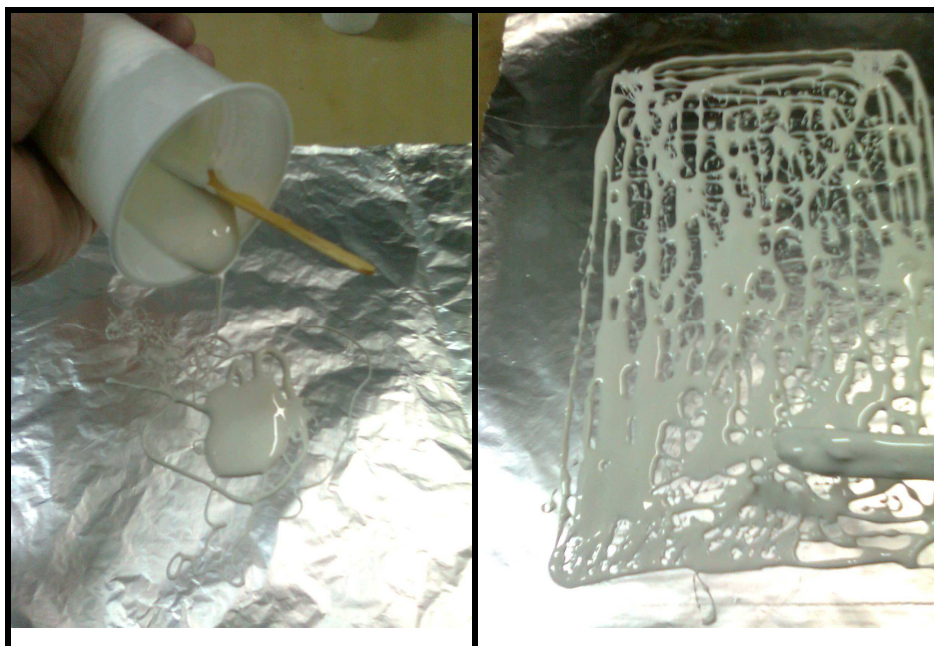
Após aplicada e curada é extremamente resistente e impermeável.

Por desconhecimento de manipulação do produto, muito material e muitas horas de trabalho foram gastas no processo.

Inicialmente consultou-se uma loja especializada que recomendou a Silaepoxi SQ 2004 com seu respectivo catalizador.

A moldagem planejada foi espalhar a mistura sobre papel alumínio e depois estampar com um cilindro de aço inox (Figura 22 e 23).

Figura 22 – Espalhamento da mistura resina/ TiO_2 /vidro em papel alumínio



Fonte: autor

Figura 23 – Aspecto do espalhamento final e pastilhas estampadas



Fonte: autor

O processo não se tornou viável pois, a resina quando endurece, não permite corte. Neste caso, a estampagem foi feita antes da cura total da resina. Essa ação deformava a pastilha, inutilizando-a.

Com mais pesquisas, aprendeu-se que o melhor método seria produzir uma fôrma de silicone para moldar as pastilhas.

O silicone foi comprado em loja de artigos para bijuteria.

A forma (ou contraforma) para as pastilhas foi moldada com o uso de sobras de estampagem de chapa de aço. Em alguns processos, esta sobra é uma “moeda” com 1,8 cm de diâmetro. A empresa que doou estas “moedas” foi a Perfilados Real.

Com isso em mãos, moldou-se a forma de silicone (figura 24).

A necessidade das pastilhas terem aproximadamente 1,5 cm é devido ao tubo no qual ela foi ensaiada, que tem 2,5 cm de diâmetro.

Figura 24 – Processo de moldagem da forma de silicone

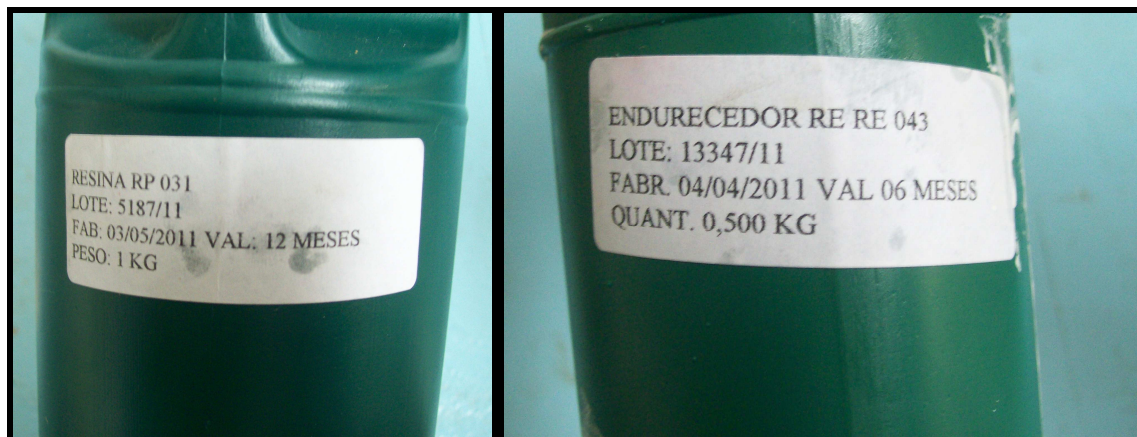


Fonte: autor

Em novas pesquisas, encontrou-se outra formulação de resina epóxi, a RP 031 produzida pela empresa Ariston Polímeros Indústria e Comercio Ltda., com seu respectivo catalisador (figura 25).

Este produto mostrou-se mais fácil de manipular por ser menos viscoso.

Figura 25 - Resina epóxi RP 031 e catalizador (endurecedor) RE 043



Fonte: autor

Com todos os produtos e equipamentos necessários, iniciou-se a produção das pastilhas. Em um copo plástico (polipropileno PP branco) pesou-se separadamente, em balança eletrônica com capacidade máxima de 2,020 g e resolução de 0,01 g, a resina epóxi, o catalisador (na proporção recomendada 1:0,5), o TiO_2 e o pó de vidro (figura 26).

Figura 26 – Pesagem da resina, catalisador, TiO_2 e pó de vidro

Fonte: autor

Após a pesagem, adicionou-se à resina o TiO_2 e/ou pó de vidro. Em seguida o compósito foi misturado manualmente por 5 minutos, até obter uma consistência homogênea (figura 27).

Figura 27 – Etapas da mistura do TiO_2 e pó de vidro à resina epóxi



Fonte: autor

Na sequência foi adicionado o catalisador (endurecedor). O produto então foi misturado manualmente por mais 2 minutos e despejado na forma de silicone (figura 28).

As pastilhas foram identificadas com a inserção de pequenos pedaços de papel alumínio colorido na moldagem das peças (figura 28 e 30), para posterior discriminação das pastilhas na etapa do experimento que envolveu a contaminação. A inserção se deu na face contrária à face a ser contaminada.

Figura 28 – Processo de moldagem das pastilhas



Fonte: autor

As pastilhas foram curadas por 24 horas em temperatura ambiente. Após este período procedeu-se a desforma. Esta etapa foi de fácil execução. O compósito não aderiu à fôrma e a mesma ficava limpa para nova moldagem (figura 29).

Figura 29 – Desmoldagem das pastilhas



Fonte: autor

Foram moldadas em torno de 100 pastilhas de cada concentração apresentada no Quadro 5 e sua configuração esta ilustrada na figura 30.

Figura 30 – Os cinco tipos de pastilhas produzidos



Fonte: autor

3.2 CONTAMINAÇÃO E EXPOSIÇÃO À LUZ

O experimento envolvendo bactérias foi realizado no Laboratório de Microbiologia do Instituto de Ciências Biomédicas da UFU. Para sua execução contou-se com a coordenação do Prof. Dr. Geraldo Batista de Melo, o auxílio da técnica Claudete Freitas, e o empenho da graduanda em Odontologia Tayse Rodrigues Oliveira e da graduanda em Biologia Roberta Tomaz Botta.

Os procedimentos seguiram as normas estabelecidas pelo Clinical Laboratory Standards Institute (CLSI, 2011).

3.2.1 MATERIAIS UTILIZADOS

- Brain Heart Infusion Broth - DIFCO/USA.
- Mueller Hinton Agar - DIFCO/USA.
- Mannitol Salt Agar - DIFCO/USA.
- *Staphylococcus aureus* ATCC¹ 25923.
- 168 pastilhas (quadro 4), com diâmetro de $\pm 1,5$ cm e espessura de aproximadamente 0,1 cm, com as seguintes proporções de TiO₂ (anatase – Evonik Degussa P25) e/ou pó de vidro plano cristal, encapsulados em resina epóxi (RP 031- ARISTON POLÍMEROS IND. COM. LTDA):

Quadro 4 – Distribuição qualitativa e quantitativa das 168 pastilhas utilizadas

Código	Qtd.	Cor	TiO ₂	Pó de vidro
PN	40	Translúcida	0%	0%
P5	32	Rosa	5%	0%
P5V	32	Verde	5%	5%
P10	32	Roxo	10%	0%
P10V	32	Preto	10%	10%

Fonte: autor

¹ ATTC: America Type Culture Collection, USA

- Legenda:

PN: Pastilha neutra, fabricada somente com resina epóxi.

P5: Pastilha contendo, em massa, 5% de TiO_2 .

P5V: Pastilha contendo, em massa, 5% de TiO_2 e r% de pó de vidro.

P10: Pastilha contendo, em massa, 10% de TiO_2 .

P10V: Pastilha contendo, em massa, 10% de TiO_2 e 10% de pó de vidro.

3.2.2 MÉTODOS

A *Staphylococcus aureus* utilizado no experimento (ATCC 25923) foi proveniente do estoque do Laboratório de Microbiologia do Instituto de Ciências Biomédicas da UFU da UFU.

Para tanto, uma amostra foi retirada e encubada em caldo BHI (Brain Heart Infusion) a 37° C por 24 horas.

Após este tempo, foram transferidas para placas contendo Mueller Hinton Agar (figura 31) e cultivadas na mesma temperatura pelo mesmo tempo.

Figura 31 – Cultivo de *Staphylococcus aureus* em Mueller Hinton Agar



Fonte: autor

Após o crescimento das colônias, parte dela foi misturada a uma solução salina estéril até atingir a turbidez de 0,5 na escala de Mac Farland (figura 32), conforme preconiza o CLSI. Desta forma o caldo conteve 10^8 organismos/mL, ou seja, 100 milhões de bactérias por mL.

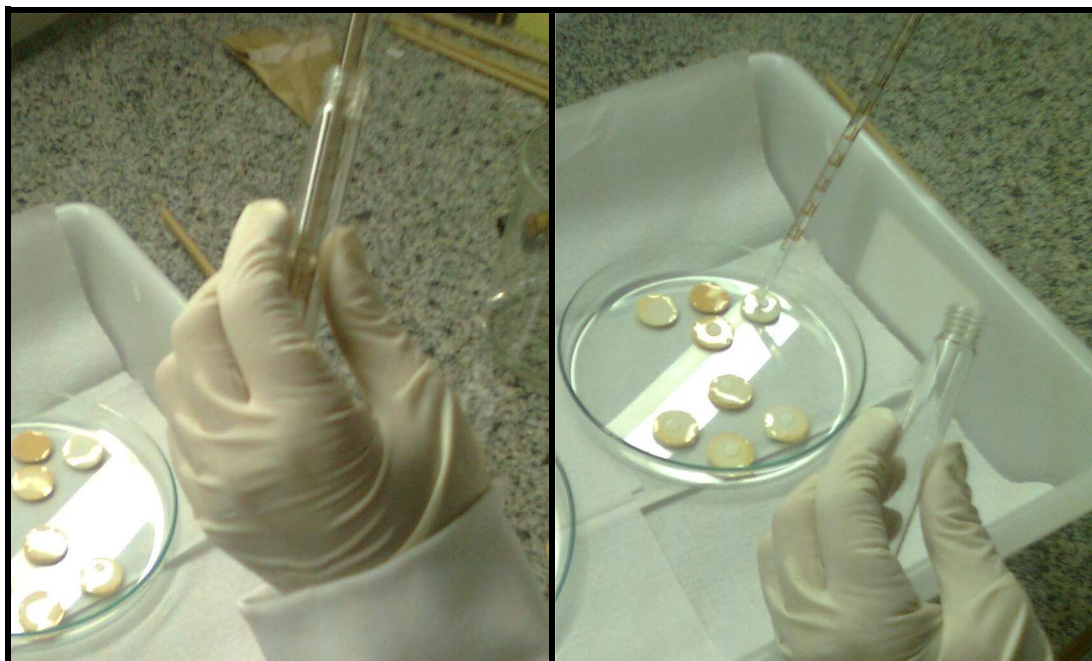
Figura 32 – Preparo de caldo de bactéria na turbidez de 0,5 da escala de Mac Farland



Fonte: autor

As pastilhas, que antes passaram por processo de esterilização em estufa, foram contaminadas com 0,1 mL deste caldo (figura 33).

Figura 33 – Contaminação das pastilhas



Fonte: autor

Em seguida, as bandejas contendo as pastilhas foram expostas à luz solar direta, em ambiente externo (figura 34), e à luz do ambiente interno, composto por luz solar indireta e luz fluorescente comum.

Figura 34 – Exposição das pastilhas contaminadas à luz solar direta



Fonte: autor

A cada período de 15 minutos foi retirada para análise, uma pastilha de cada concentração. Desta forma, no período de 60 minutos, todas as amostras foram recolhidas para análise (figura 35).

Esse tempo foi arbitrado. Nos experimentos de outros autores, os tempos de exposição variaram de alguns minutos a várias horas. Como o presente estudo não tem intuito de ser comparado a nenhum outro, arbitrou-se os períodos indicados.

Figura 35 – Metodologia para exposição das pastilhas

	0 min	15 min	30 min	45 min	60 min
PN	●●●●●	●●●●○	●●●○	●○	○
P5	●●●●●	●●●●○	●●●○	●○	○
P5V	●●●●●	●●●●○	●●●○	●○	○
P10	●●●●●	●●●●○	●●●○	●○	○
P10V	●●●●●	●●●●○	●●●○	●○	○

● pastilha contaminada
○ pastilha retirada

Fonte: autor

Cada uma das pastilhas recolhida foi imediatamente transferida para um tubo com 5 mL de solução salina estéril (figura 36).

Figura 36 – Pastilhas transferidas para solução salina estéril.



Fonte: autor

Para melhor eluição das bactérias, o tubo foi submetido a um aparelho de vibração ultrassônica, de nome comercial Vórtex (figura 37).

Figura 37 – Sonificação da pastilha



Fonte: autor

Deste total de 5 mL, 0,1 mL foi transferido para uma placa contendo Mueller Hinton Agar e encubadas por 48 horas (figura 38).

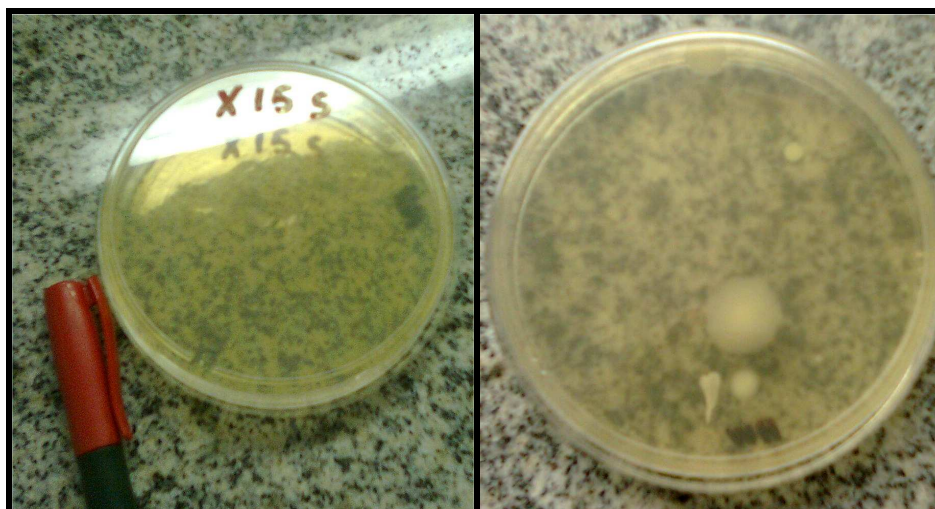
Figura 38 – Preparo das placas para encubação



Fonte: autor

Após esse tempo foi feita a contagem visual do número de Unidades Formadoras de Colônias (UFC) na placa (figura 39).

Figura 39 – Contagem das colônias



Fonte: autor

A proposta inicial seria somente dois experimentos. Porém, como havia pastilhas extras, resolveu-se proceder mais um experimento com a *Staphylococcus aureus* e um experimento extra, não programado, com outra bactéria, a *Escherichia coli*. A iniciativa de analisar os efeitos nesta bactéria foi do Prof. Dr. Geraldo Batista de Melo. A motivação é que a *Escherichia coli* é de família diferente da *Staphylococcus aureus*. Desta forma, possui morfologia diferente. O intuito foi verificar fotodegradação também ocorreria nesta cepa.

A formatação final do experimento ficou da seguinte forma (figura 40 e 41):

- *Escherichia coli*
 - 1 exposição à luz solar;
 - 1 exposição à luz ambiente.
- *Staphylococcus aureus*
 - 3 exposições à luz solar;
 - 3 exposições à luz ambiente.

As pastilhas utilizadas em cada experimento eram descartadas e substituídas por novas, esterilizadas, nos experimentos seguintes.

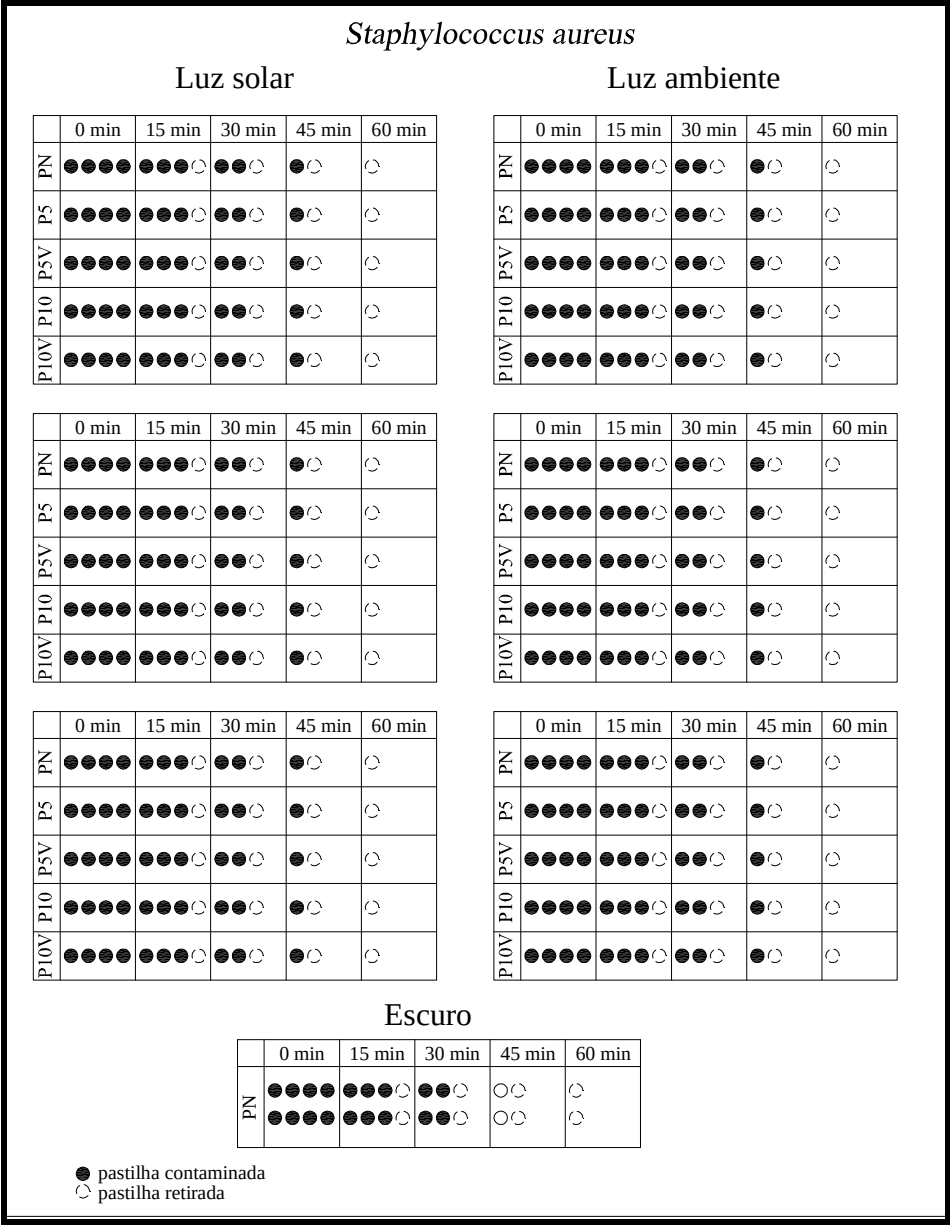
Figura 40 - Formatação do experimento com *Escherichia coli*

<i>Escherichia coli</i>											
Luz solar						Luz ambiente					
	0 min	15 min	30 min	45 min	60 min		0 min	15 min	30 min	45 min	60 min
PN	●●●●●	●●●●○	●●●○	●○	○	PN	●●●●●	●●●●○	●●●○	●○	○
P5	●●●●●	●●●●○	●●●○	●○	○	P5	●●●●●	●●●●○	●●●○	●○	○
P5V	●●●●●	●●●●○	●●●○	●○	○	P5V	●●●●●	●●●●○	●●●○	●○	○
P10	●●●●●	●●●●○	●●●○	●○	○	P10	●●●●●	●●●●○	●●●○	●○	○
P10V	●●●●●	●●●●○	●●●○	●○	○	P10V	●●●●●	●●●●○	●●●○	●○	○

● pastilha contaminada
○ pastilha retirada

Fonte: autor

Figura 41 – Formatação do experimento com *Staphylococcus aureus*



Fonte: autor

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E ANÁLISE

4.1 RESULTADOS

Para melhor compreender os resultados das contagens das unidades formadoras de colônias (UFCs) nas placas, ou seja, a quantidade de UFCs que permaneceram vivas após a exposição, calculou-se a quantidade teórica de UFCs originalmente aplicada em cada placa.

A turbidez de 0,5 na escala de Mac Farland indica que o caldo conterá 10^8 organismos/mL, ou seja, 100 milhões de bactérias por mL. Cada pastilha foi contaminada com 0,1 mL deste caldo. Então, cada pastilha foi contaminada com 10 milhões de bactérias. Depois as pastilhas foram transferidas para um tubo com 5 mL de solução estéril: $10000000/5 = 2$ milhões de bactérias por mL. Dessa concentração, 0,1 mL foi aplicado na placa: $2000000/10 = 200$ mil UFC/pastilha.

Outro fator relevante é que devido ao tempo necessário para manipular as pastilhas até o preparo das placas para incubação, os experimentos não foram todos realizados no mesmo dia. Então, quando se anuncia, por exemplo, “primeira exposição à luz solar”, os experimentos foram feitos em pelo menos três ocasiões distintas. A variação da umidade relativa do ar e da temperatura podem ter influenciado os resultados, como veremos a seguir.

Devesse salientar que uma parte dos estudos sob fotodegradação realizados por outros autores, foram conduzidas sob condições controladas. Lembrando que o intuito desse experimento é estudar um compósito que possa ser usado como revestimento de superfícies de serviços de saúde, e que essas superfícies estão sujeitas às variações climáticas, não foi considerado nas premissas do estudo, o controle da intensidade da exposição, a temperatura e umidade relativa do ar, na ocasião do experimento.

4.1.1 *Staphylococcus aureus*: primeira exposição à luz solar

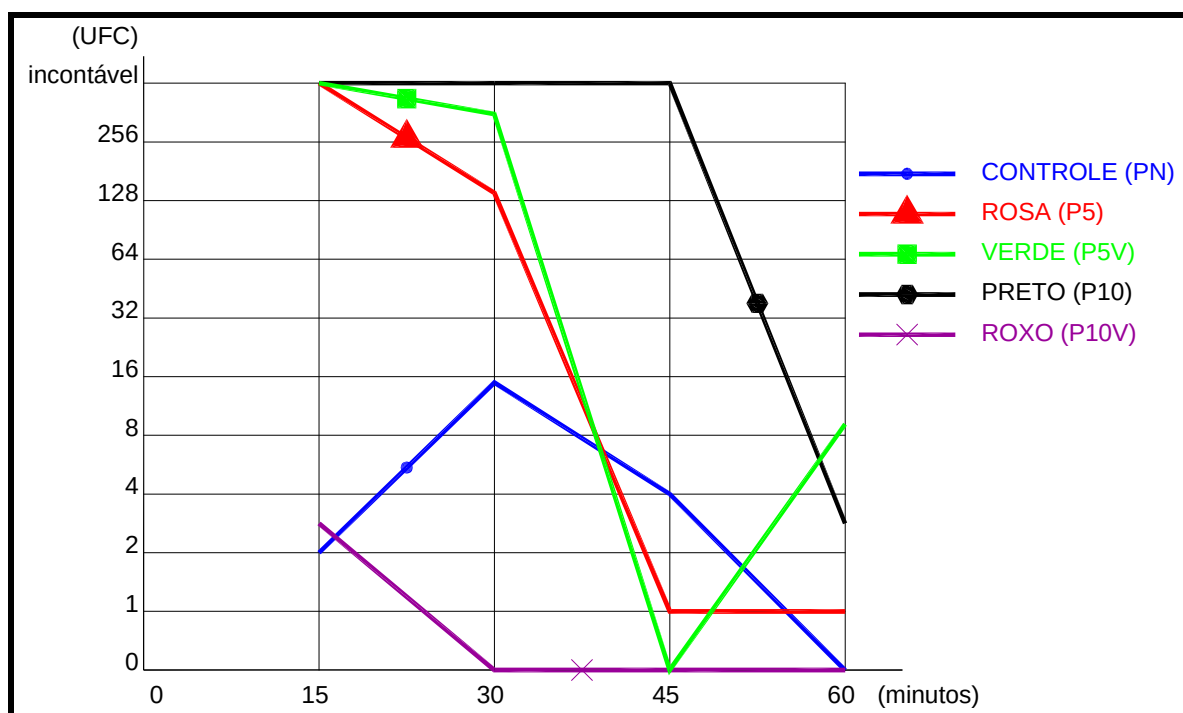
No Quadro 5 e no Gráfico 1 mostram-se os resultados encontrados após o primeiro experimento de exposição das pastilhas contaminadas à luz solar (obs.: incontável ≥ 400 UFCs).

Quadro 5 – Contagem das UFCs após primeira exposição à luz solar

Código	15 min	30 min	45 min	60 min
CONTROLE PN	2	15	4	0
ROSA P5	incontável	141	1	1
VERDE P5V	incontável	326	0	10
PRETO P10	incontável	incontável	incontável	3
ROXO P10V	3	0	0	0

Fonte: autor

Gráfico 1 – Representação do Quadro 5



Fonte: autor

Surpreendentemente, a segunda maior redução média foi observada na pastilha CONTROLE PN, que não recebeu TiO_2 .

A maior redução foi observada na pastilha ROXO P10V, que inativou, em período de 30 minutos, as 200 mil UFCs ali depositadas.

Apesar de que a maior redução se deu com a pastilha com maior concentração de TiO₂, não se identifica linearidade entre o aumento de concentração e o aumento de atividade fotocatalítica.

Os números também não mostram linearidade entre a adição ou não de pó de vidro, haja vista que, em média, na pastilha P5 observou-se redução maior que na pastilha P5V.

Porém, em média, na pastilha P10V, observou-se maior redução que na pastilha P10.

4.1.2 *Staphylococcus aureus*: segunda exposição à luz solar

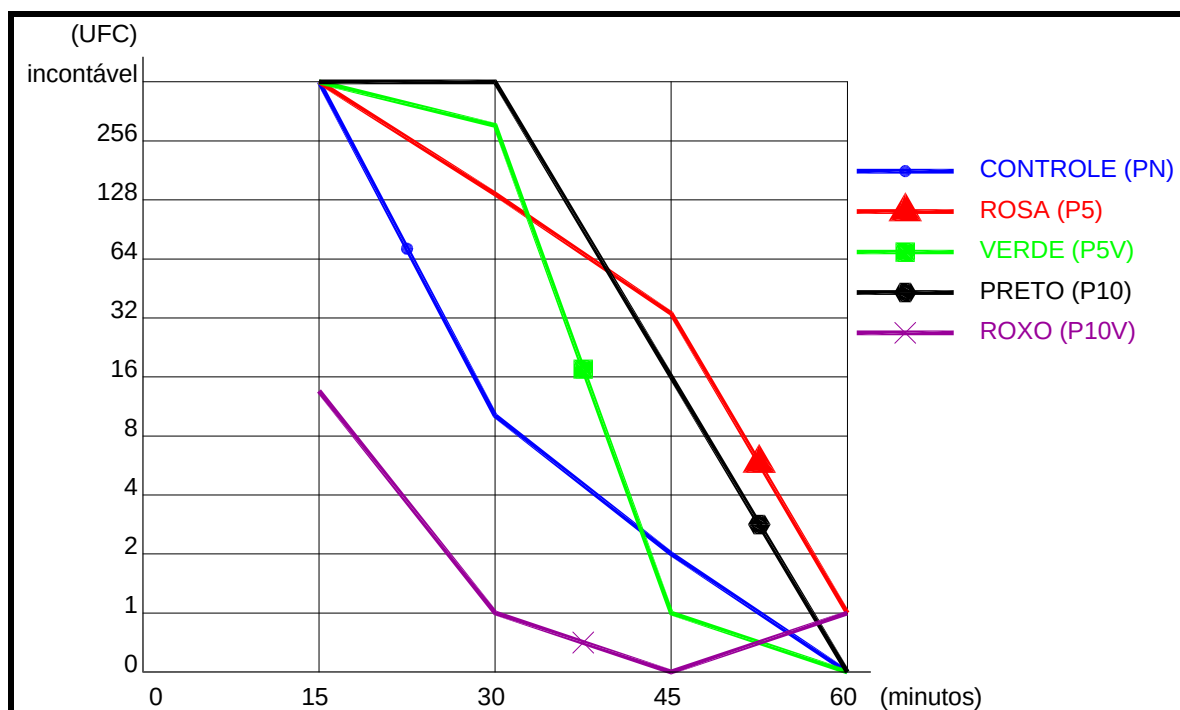
No Quadro 6 e no Gráfico 2 mostram-se os resultados encontrados após o segundo experimento de exposição das pastilhas contaminadas à luz solar (obs.: incontável $\geq$ 400 UFCs).

Quadro 6 – Contagem das UFCs após segunda exposição à luz solar

Código	15 min	30 min	45 min	60 min
CONTROLE PN	incontável	11	2	0
ROSA P5	incontável	147	30	1
VERDE P5V	incontável	308	1	0
PRETO P10	incontável	incontável	16	0
ROXO P10V	14	1	0	1

Fonte: autor

Gráfico 2 – Representação do Quadro 6



Fonte: autor

Aqui, como ocorreu com a primeira exposição, na pastilha sem TiO_2 ocorreu significativa redução de bactérias.

E, da mesma forma, a pastilha com melhor desempenho foi a pastilha ROXO P10V. Essa, com 15 minutos, já havia reduzido as UFCs para menos de 16, enquanto as outras ainda não apresentavam resultados contabilizáveis.

Os números sugerem que, a partir de 45 minutos, a presença do pó de vidro aumentou a atividade fotocatalítica, conforme observa-se comparando P5V com P5, e P10V com P10, a partir deste intervalo.

4.1.3 *Staphylococcus aureus*: terceira exposição à luz solar

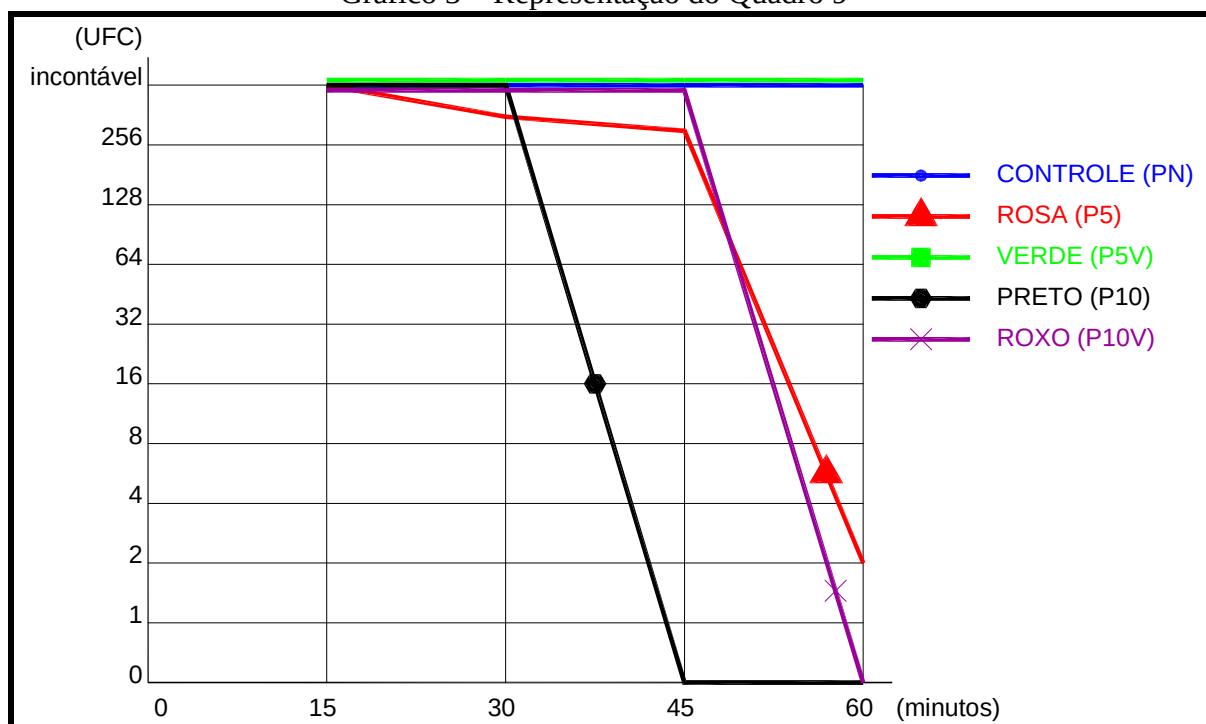
No Quadro 7 e no Gráfico 3 mostram-se os resultados encontrados após o terceiro experimento de exposição das pastilhas contaminadas à luz solar (obs.: incontável ≥ 400 UFCs).

Quadro 7 – Contagem das UFCs após terceira exposição à luz solar

Código	15 min	30 min	45 min	60 min
CONTROLE PN	incontável	incontável	incontável	incontável
ROSA P5	incontável	324	285	2
VERDE P5V	incontável	incontável	incontável	incontável
PRETO P10	incontável	incontável	0	0
ROXO P10V	incontável	incontável	incontável	0

Fonte: autor

Gráfico 3 – Representação do Quadro 9



Fonte: autor

Como não é possível contabilizar as UFCs acima de 400, não é possível visualizar se houve redução nos primeiros 30 minutos de exposição.

A partir deste período, as pastilhas com maior concentração de TiO_2 mostraram ação fulminante na redução de UFCs.

4.1.4 *Staphylococcus aureus*: primeira exposição à luz ambiente

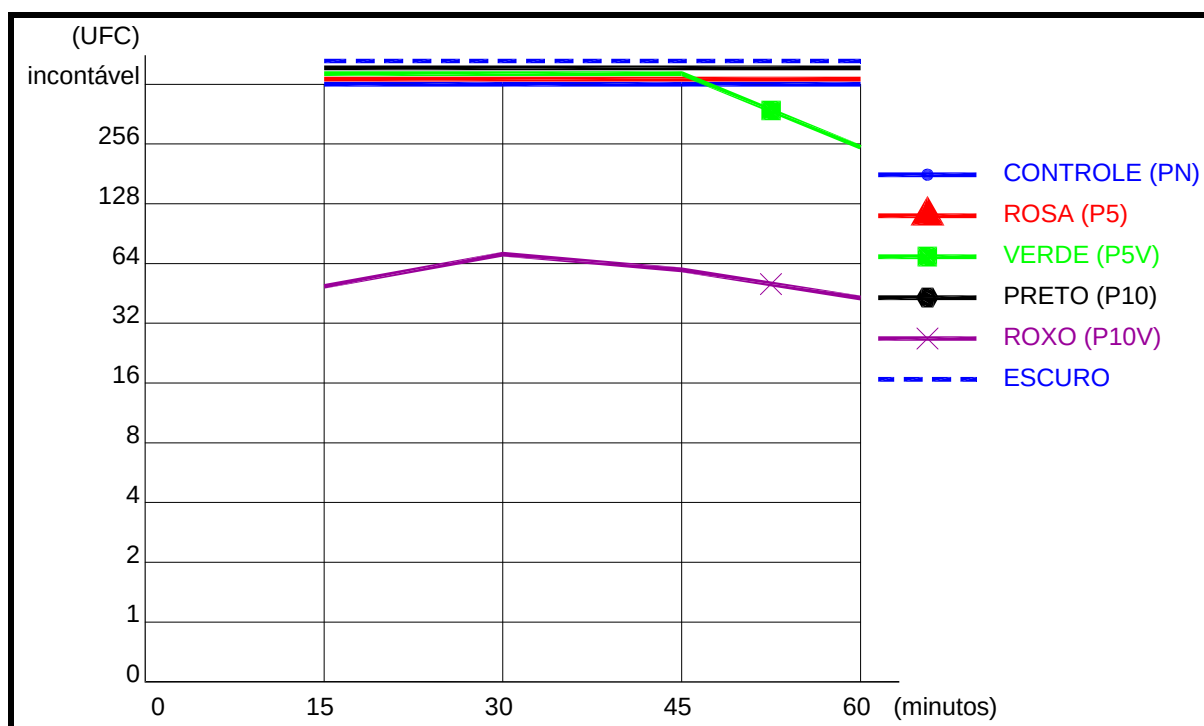
No quadro 8 e no Gráfico 4 mostram-se os resultados encontrados após o primeiro experimento de exposição das pastilhas contaminadas à luz ambiente (obs.: incontável $\geq$ 400 UFCs).

Quadro 8 – Contagem das UFCs após primeira exposição à luz ambiente

Código	15 min	30 min	45 min	60 min
CONTROLE PN	incontável	incontável	incontável	incontável
ROSA P5	incontável	incontável	incontável	incontável
VERDE P5V	incontável	incontável	incontável	224
PRETO P10	incontável	incontável	incontável	incontável
ROXO P10V	50	65	62	49
ESCURO	incontável	incontável	incontável	incontável

Fonte: autor

Gráfico 4 – Representação do Quadro 8



Fonte: autor

Da mesma forma que as duas exposições à luz solar, a pastilha com melhor desempenho fotocatalítico é a ROXO P10V.

As outras, exceto a VERDE P5V, tiveram resultados inconclusivos, por impossibilidade de contabilizar as UFCs sobreviventes.

Infere-se que a presença de pó de vidro favorece a fotodegradação.

4.1.5 *Staphylococcus aureus*: segunda exposição à luz ambiente

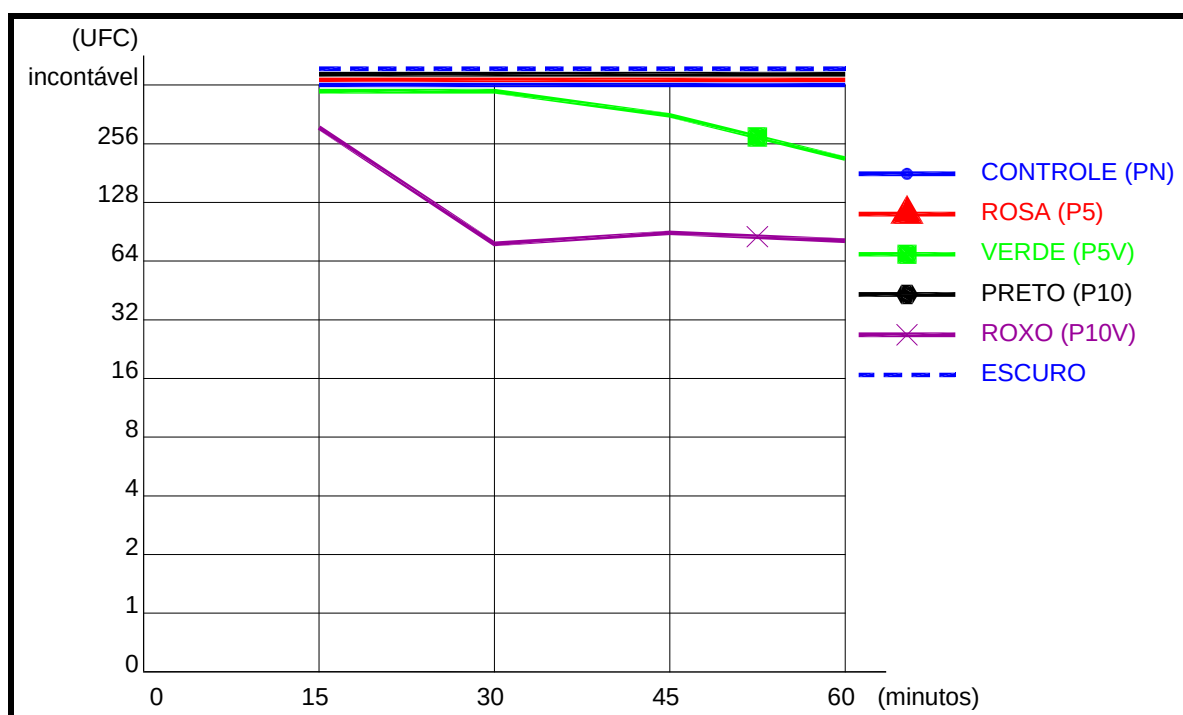
No Quadro 9 e no Gráfico 5 mostram-se os resultados encontrados após o segundo experimento de exposição das pastilhas contaminadas à luz ambiente (obs.: incontável ≥ 400 UFCs).

Quadro 9 – Contagem das UFCs após segunda exposição à luz ambiente

Código	15 min	30 min	45 min	60 min
CONTROLE PN	incontável	incontável	incontável	incontável
ROSA P5	incontável	incontável	incontável	incontável
VERDE P5V	incontável	incontável	384	244
PRETO P10	incontável	incontável	incontável	incontável
ROXO P10V	281	71	106	88
ESCURO	incontável	incontável	incontável	incontável

Fonte: autor

Gráfico 5 – Representação do Quadro 9



Fonte: autor

Aqui também a pastilha com melhor desempenho fotocatalítico é a ROXO P10V. Os resultados são compatíveis com os do primeiro experimento à luz ambiente.

Não foi possível observar redução de UFCs nas outras pastilhas, exceto na VERDE P5V, que apresentou resultados aos 45 e 60 minutos.

Novamente, a presença de pó de vidro parece favorecer a fotodegradação.

4.1.6 *Staphylococcus aureus*: terceira exposição à luz ambiente

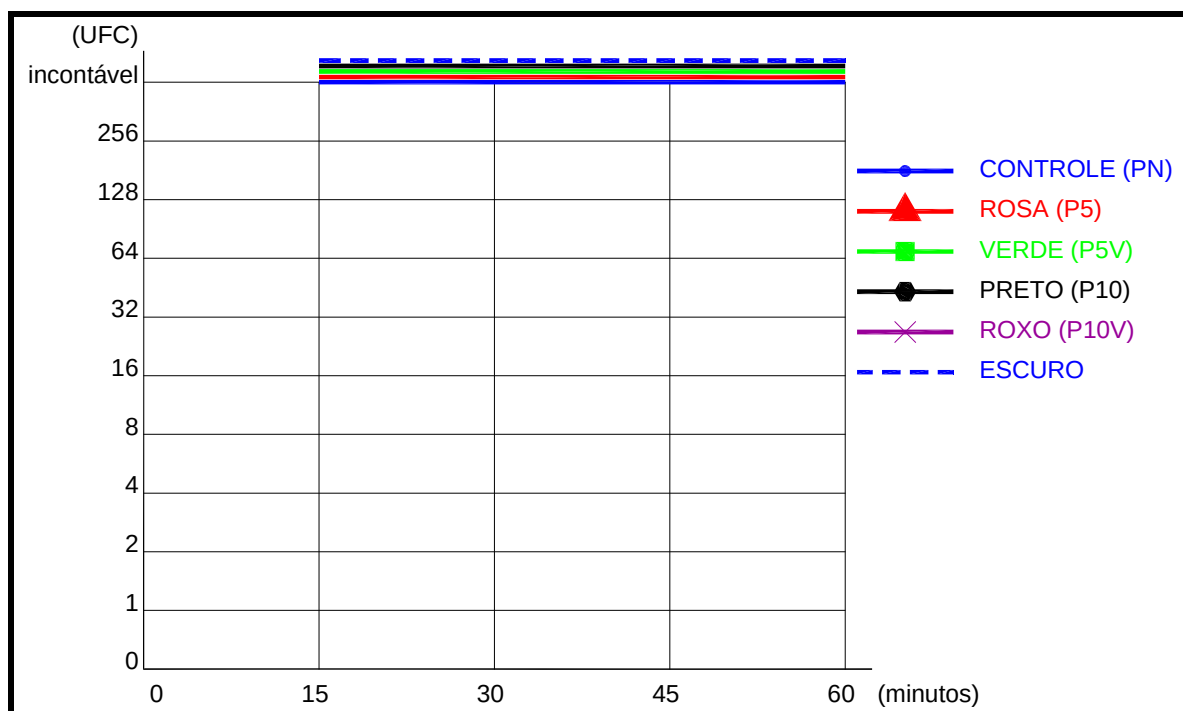
No Quadro 10 e no Gráfico 6 mostram-se os resultados encontrados após o terceiro experimento de exposição das pastilhas contaminadas à luz ambiente (obs.: incontável $\geq$ 400 UFCs).

Quadro 10 – Contagem das UFCs após a terceira exposição à luz ambiente

Código	15 min	30 min	45 min	60 min
CONTROLE PN	incontável	incontável	incontável	incontável
ROSA P5	incontável	incontável	incontável	incontável
VERDE P5V	incontável	incontável	incontável	incontável
PRETO P10	incontável	incontável	incontável	incontável
ROXO P10V	incontável	incontável	incontável	incontável

Fonte: autor

Gráfico 6 – Representação do Quadro 10



Fonte: autor

Nenhum resultado contabilizável foi observado.

4.1.7 *Escherichia coli*: resultados da exposição das pastilhas contaminadas

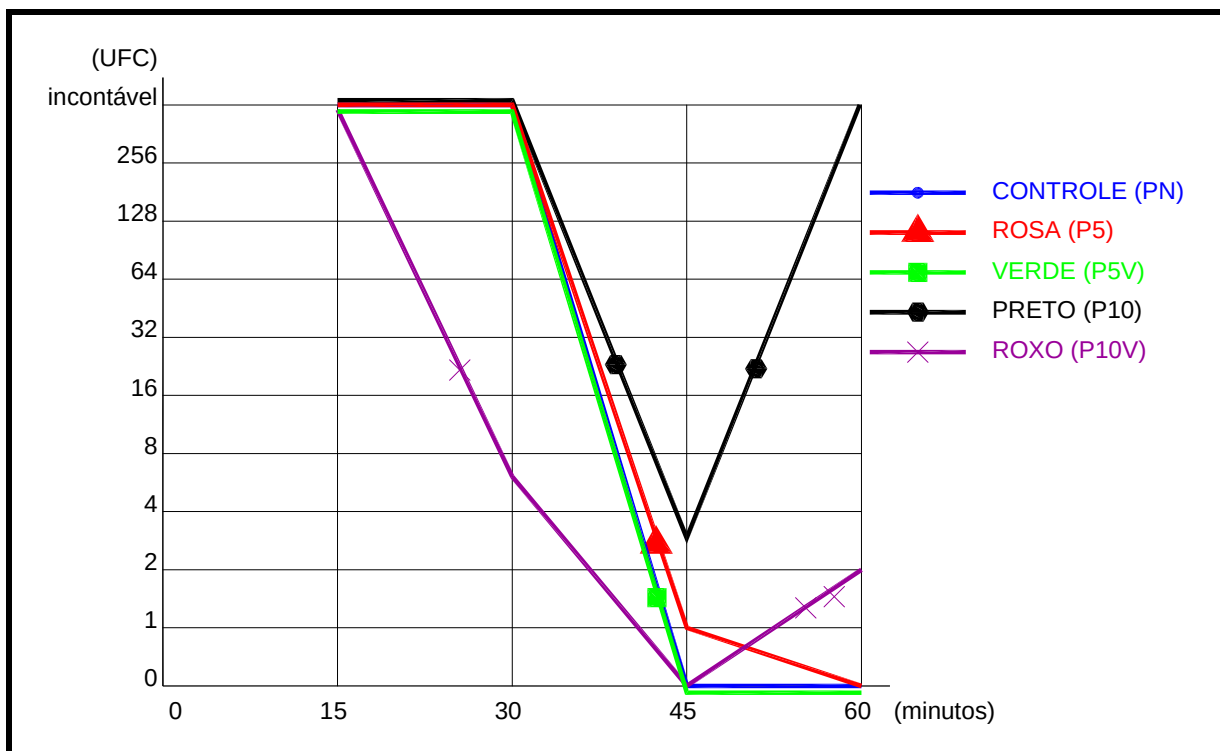
No Quadro 11 mostram-se os resultados encontrados após a exposição das pastilhas contaminadas à luz solar e à luz ambiente (obs.: incontável ≥ 400 UFCs).

Quadro 11 – Contagem das UFCs após a exposição à luz solar

Exposição à luz solar	15 min	30 min	45 min	60 min
CONTROLE PN	incontável	incontável	0	0
ROSA P5	incontável	incontável	1	0
VERDE P5V	incontável	incontável	0	0
PRETO P10	incontável	incontável	3	incontável
ROXO P10V	incontável	7	0	2

Fonte: autor

Grafico 7 – Representação do Quadro 11



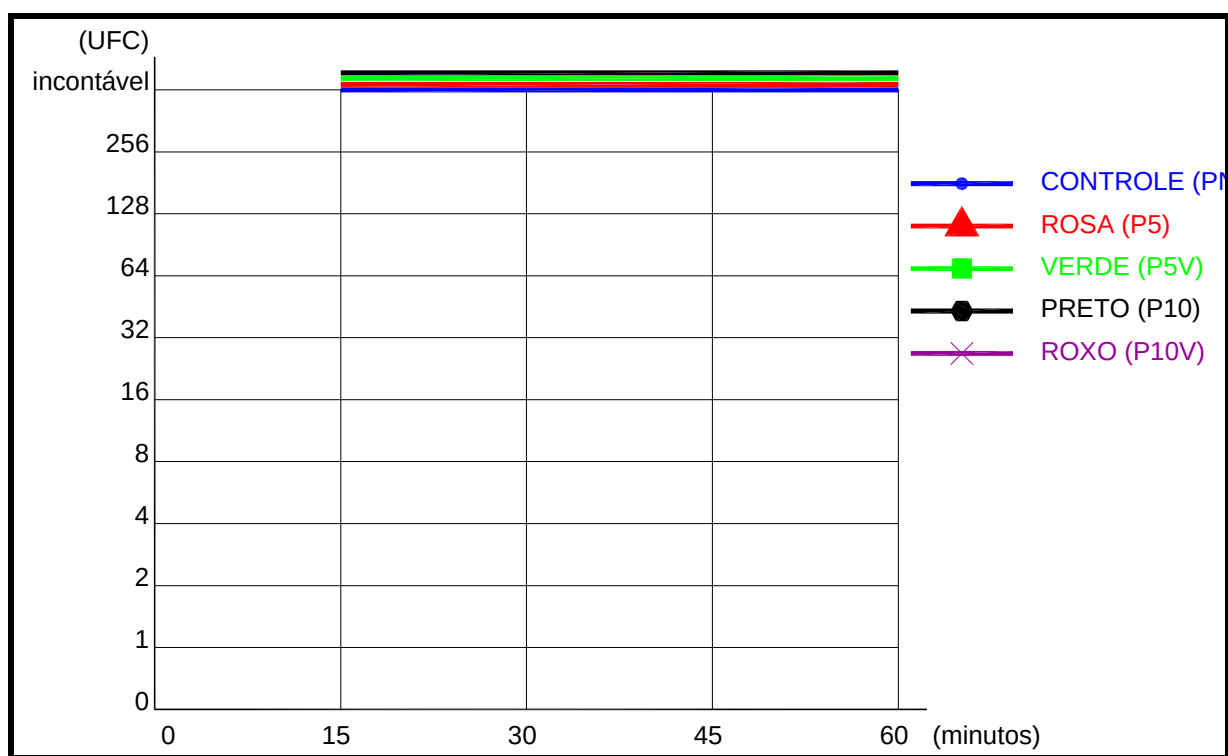
Observamos aqui, até aos 45 minutos, linearidade dos resultados.

Destaca-se aqui a pastilha P10V que, as 30 minutos já reduzira os contaminates para apenas 5. Depreende-se disso que o pó de vidro realmente contribui com a fotoatividade.

Quadro 12 – Contagem das UFCs após a exposição à luz ambiente

Exposição à luz ambiente	15 min	30 min	45 min	60 min
CONTROLE PN	incontável	incontável	incontável	incontável
ROSA P5	incontável	incontável	incontável	incontável
VERDE P5V	incontável	incontável	incontável	incontável
PRETO P10	incontável	incontável	incontável	incontável
ROXO P10V	incontável	incontável	incontável	incontável

Grafico 8 – Representação do Quadro 12



Nenhum resultado contabilizável foi observado.

4.2 ANÁLISE

4.2.1 ANÁLISE QUANTITATIVA

A primeira abordagem quantitativa, utilizando-se para isso a equação de Cordeiro et al. (2004), indica resultado excelente.

Cordeiro et al.(2004) consideram que a eficiência de degradação pode ser medida pela formula:

$(\Pi_o - \Pi_f) / \Pi_o$ (em porcentagem)

Π_o = numero de UFCs iniciais = 200.000

Π_f = contagem após exposição

Aplicando-se esta formulação para os resultados apresentados anteriormente, temos:

Quadro 13 – Eficiência do compósito após primeira exposição à luz solar do
Staphylococcus aureos

Código	15 min	30 min	45 min	60 min
CONTROLE PN	99,9990	99,9925	99,9980	100,0000
ROSA P5	incontável	99,9295	99,9995	99,9995
VERDE P5V	incontável	99,8370	100,0000	99,9950
PRETO P10	incontável	incontável	incontável	99,9985
ROXO P10V	99,9985	100,0000	100,0000	100,0000

Quadro 14 – Eficiência do compósito após segunda exposição à luz solar do
Staphylococcus aureos

Código	15 min	30 min	45 min	60 min
CONTROLE PN	incontável	99,9945	99,9990	100,0000
ROSA P5	incontável	99,9265	99,9850	99,9995
VERDE P5V	incontável	99,8460	99,9995	100,0000
PRETO P10	incontável	incontável	incontável	100,0000
ROXO P10V	99,9930	99,9995	100,0000	99,9995

Quadro 15 – Eficiência do compósito após a terceira exposição à luz solar do
Staphylococcus aureus

Código	15 min	30 min	45 min	60 min
CONTROLE PN	incontável	incontável	incontável	incontável
ROSA P5	incontável	99,8380	99,8575	99,9990
VERDE P5V	incontável	incontável	incontável	incontável
PRETO P10	incontável	incontável	100,0000	100,0000
ROXO P10V	incontável	incontável	incontável	100,0000

Quadro 16 – Eficiência do compósito após a primeira exposição à luz ambiente do
Staphylococcus aureus

Código	15 min	30 min	45 min	60 min
CONTROLE PN	incontável	incontável	incontável	incontável
ROSA P5	incontável	incontável	incontável	incontável
VERDE P5V	incontável	incontável	incontável	99,8880
PRETO P10	incontável	incontável	incontável	incontável
ROXO P10V	99,9750	99,9675	99,9690	99,9755
ESCURO	incontável	incontável	incontável	incontável

Quadro 17 – Eficiência do compósito após segunda exposição à luz ambiente do
Staphylococcus aureus

Código	15 min	30 min	45 min	60 min
CONTROLE PN	incontável	incontável	incontável	incontável
ROSA P5	incontável	incontável	incontável	incontável
VERDE P5V	incontável	incontável	99,8080	99,8780
PRETO P10	incontável	incontável	incontável	incontável
ROXO P10V	99,8595	99,9645	99,9470	99,9560
ESCURO	incontável	incontável	incontável	incontável

Quadro 18 – Eficiência do compósito após terceira exposição à luz ambiente do *Staphylococcus aureus*

Código	15 min	30 min	45 min	60 min
CONTROLE PN	incontável	incontável	incontável	incontável
ROSA P5	incontável	incontável	incontável	incontável
VERDE P5V	incontável	incontável	incontável	incontável
PRETO P10	incontável	incontável	incontável	incontável
ROXO P10V	incontável	incontável	incontável	incontável
ESCURO	incontável	incontável	incontável	incontável

Quadro 19 – Eficiência do compósito após exposição à luz solar do *Escherichia coli*

Código	15 min	30 min	45 min	60 min
CONTROLE PN	incontável	incontável	99,9965	99,9965
ROSA P5	incontável	incontável	99,9965	99,9965
VERDE P5V	incontável	incontável	99,9965	99,9965
PRETO P10	incontável	incontável	99,9965	incontável
ROXO P10V	incontável	99,9965	99,9965	99,9965

Quadro 20 – Eficiência do compósito após exposição à luz ambiente do *Escherichia coli*

Código	15 min	30 min	45 min	60 min
CONTROLE PN	incontável	incontável	incontável	incontável
ROSA P5	incontável	incontável	incontável	incontável
VERDE P5V	incontável	incontável	incontável	incontável
PRETO P10	incontável	incontável	incontável	incontável
ROXO P10V	incontável	incontável	incontável	incontável
ESCURO	incontável	incontável	incontável	incontável

De outra forma, comparando os resultados somente do primeiro e segundo experimento

somente da pastilha CONTROLE PN (pastilha neutra, sem adição alguma) e da ROXO P10V, em exposição à luz ambiente (quadros 21 e 22), percebe-se que a presença do TiO₂ e do pó de vidro foram fundamentais para degradação dos contaminantes

Quadro 21 – Comparação dos resultados entre CONTROLE PN e ROXO P10V na primeira exposição à luz ambiente

1ª exposição	15 min	30 min	45 min	60 min
CONTROLE PN	incontável	incontável	incontável	Incontável
ROXO P10V	50	65	62	49
ESCURO	incontável	incontável	incontável	Incontável

Fonte: autor

Quadro 22 - Comparação dos resultados entre o CONTROLE PN e ROXO P10V na segunda exposição à luz ambiente

2ª exposição	15 min	30 min	45 min	60 min
CONTROLE PN	incontável	incontável	incontável	Incontável
ROXO P10V	281	71	106	88
ESCURO	incontável	incontável	incontável	Incontável

Fonte: autor

Lembrando que “ESCURO”, significa uma pastilha CONTROLE PN que foi contaminada e mantida em ambiente totalmente sem luz. Este ambiente, no caso, foi uma estufa desligada.

Sendo a indicação “incontável” a presença de mais de 400 UFCs, na pastilha ROXO P10V a quantidade de contaminantes caiu, no mínimo, 87,5% na 1ª exposição e, 29,75% na 2ª exposição, no período de 15 minutos.

Em média, a redução foi de, aproximadamente, 58% nos 15 primeiros minutos e 70% ao final de 30 minutos.

4.2.2 ANÁLISE QUALITATIVA

A premissa deste trabalho foi estudar um compósito que possa “...na construção civil... revestir superfícies hospitalares quaisquer como tetos, paredes, pisos, maçanetas, camas, bancadas, pias, etc., como vista a assepsia do ambiente, reduzindo o uso de produtos químicos...”.

Sendo estas superfícies internas, a analogia se dá com os Quadros 21 e 22. Esses apresentam resultados indicativos da proximidade com os objetivos propostos.

E mais, essa ação é contínua, de acordo com revisão bibliográfica exposta, o mecanismo de fotocatalise se mantém indefinidamente, desde que garantida o contato do contaminante com a superfície fotocatalítica, que, conforme explicado pode ser mantido com a limpeza frequente dessa superfície com esponja ou pano, e água.

De acordo com Brasil (2010), os produtos mais utilizados para limpeza de superfícies em serviços de saúde são o álcool etílico (concentração de 60% a 90% em solução de água) e hipoclorito de sódio (concentração de 0,02% a 1% em solução de água). Ambos eliminam a maioria dos patógenos infectantes em serviços de saúde, porém, têm suas desvantagens. O álcool é inflamável, volátil, opacifica acrílico, resseca plásticos, borrachas e a pele. O hipoclorito de sódio é instável (afetado pela luz solar, temperatura $>25^{\circ}\text{C}$ e pH ácido), corrosivo para metais e pode causar irritabilidade nos olhos e mucosas.

Além disso, esses produtos só atuam no momento de sua aplicação. Logo as superfícies, se expostas, voltam a ser contaminadas.

4.2.3 ANÁLISE DE CUSTO

O custo da pastilha ROXO P10V é de R\$ 89,83/m² (cotação em outubro/2012), considerando a espessura de 1 mm (quadro 16). Não esta inclusa a mão de obra para aplicação.

Quadro 23 – Custo da pastilha ROXO P10V

Item	Densidade (kg/m ³)	R\$/kg	Consumo (kg)	R\$
Resina	1400	42,9	1,4	60,06
TiO ₂	130	212,64	0,14	29,77
Pó de vidro	520		0,14	0,00
Total				89,83

Fonte: autor

A aplicação em superfícies horizontais, como pisos, é muito simples, haja vista que o produto é autonivelante.

A técnica para aplicar em outras superfícies deve ser estudada. Provavelmente, o mesmo equipamento que se usa para aplicar tinta epóxi possa ser utilizado para a resina.

4.2.4 ANÁLISE CRÍTICA

Por que os resultados da exposição à luz solar direta apresenta resultados tão próximos entre o CONTROLE PN e o ROXO P10V?

Sabendo que a luz solar direta é naturalmente fotocatalítica, pode-se supor que as bactérias morreram de forma natural, a partir do momento em que o meio em que estavam não mais proporcionava condição de vida.

Mas, se assim é, por que isso não ocorreu com as outras pastilhas? Revendo os resultados, verificamos que para vários tipos de pastilhas, a quantidade de UFCs para até 45 minutos, ficou acima de 400.

No Quadro 7, da terceira exposição solar, o mesmo ocorre para as pastilhas CONTROLE PN e VERDE P5V, até o fim do experimento (60 minutos).

Considerando os resultados para o experimento em ambiente interno satisfatórios, o que ocorreria se aumentássemos a taxa de TiO₂ no compósito?

Qual a proporção de TiO_2 onde, a partir dela, o incremento melhoraria a propriedade fotocatalítica?

E o pó de vidro? Em que proporção deve entrar?

Talvez se deva aumentar a diluição do caldo, a fim de aplicar menos bactérias por pastilha, facilitando a contagem das UFCs remanescente.

Mais tempo, mais estudos e mais experimentos são necessários para responder a estas questões.

Uma coisa é certa, se forem observados os inúmeros produtos já patenteados e em fabricação comercial, a fotocatalise utilizando o TiO_2 é uma realidade em evolução.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi estudar a capacidade de um compósito, a base de TiO_2 , pó de vidro e resina epóxi, em degradar a bactéria *Staphylococcus aureus* por fotocatalise, indicando a composição mais eficiente do ponto de vista da degradação, com vista a utilizá-lo na construção civil como revestimento de superfícies de serviços de saúde, a fim de melhorar a assepsia do ambiente e reduzir o uso de desinfetantes químicos. Com os resultados obtidos verifica-se que esse objetivo foi alcançado.

Os dados obtidos mostram que há uma tendência de redução da contaminação por *Staphylococcus aureus* nas pastilhas produzidas com 10% de TiO_2 e 10% de pó de vidro. Porcentagens essas expressas em massa de resina epóxi.

O mesmo efeito é observado nas pastilhas produzidas com 5% de TiO_2 e 5% de pó de vidro, porém com menos intensidade. Isso indica que, provavelmente, a concentração ideal esteja próxima de 10%.

O pó de vidro parece contribuir com a capacidade fotodegradante. A partir de 45 minutos, as pastilhas com esse elemento apresentaram resultados melhores que as pastilhas com mesma concentração de TiO_2 , porém sem o pó de vidro. Esse fato agrega uma contribuição ambiental importante: destinação nobre para um então resíduo industrial sem valor comercial.

Os procedimentos aqui descritos podem ser refeitos, modificando gradualmente as porcentagens de TiO_2 e pó de vidro, a fim de se levantar qual a que composição que resulta maior capacidade fotocatalítica.

Este trabalho pode ser usado como base para um estudo maior, mais longo, mais abrangente, onde, a partir da determinação da melhor proporção entre os componentes do compósito, faça-se uma aplicação real, talvez em uma enfermaria do Hospital das Clínicas da UFU, mantendo avaliação constante, durante anos, comparando os índices de contaminação com outras enfermarias não revestidas com o compósito.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Denise de; Angerami, Emília LS; Padovani, Carlos Roberto. Condição microbiológica dos leitos hospitalares antes e depois de sua limpeza. São Paulo: FSP/USP, **Revista da Saúde Pública**, 34 (2): 163-9, 2000.

BICKLEY, Roger I; GONZALEZ-CARRENO, Teresita; LEES, Jonh S.; PALMISANO, Leonardo; TILLEY, Richard J.D. A structural investigation of titanium dioxide photocatalysts. **Journal of Solid State Chemistry**. Vol. 92, Edição 1, Pág. 178-190. Maio, 1991.

BLAKE, Daniel M; MANESS Pin-Ching; HUANG Zheng; WOLFRUM Edward J; HUANG Jie. Application of the photocatalytic chemistry of titanium dioxide to disinfection and the killing of cancer cells. **Separation and Purification Methods**, The National Renewable Laboratory. Golden, Colorado. Vol. 28(1). 1999

BRASIL. Segurança do paciente em serviços de saúde: limpeza e desinfecção de superfícies. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – Anvisa, Brasília, 2010, 116 p.

BRITO, Núbia Natália de; SILVA, Victor Borges Marinho. **Processo Oxidativo Avançado E Sua Aplicação Ambiental**. Goiânia: UFG, Revista Eletrônica de Engenharia Civil, n. 3, v. 1, pag. 36-47, 2012.

CAPELO, Patrícia de Jesus; MANZOCHI, Ana Maria Perito; TOLEDO, Paula Virginia Michelin; DIAS, Viviane Carvalho Hessel. Levantamento e análise das taxas de infecção hospitalar do estado do Paraná referente ao ano de 2011, notificadas no sistema online de notificação de infecção hospitalar (SONIH). **Boletim Informativo**, Superintendência de Vigilância em Saúde, Paraná, 2012.

CARVALHO, Karinne Spirandelli. **Contaminação de superfícies em enfermarias de pacientes com infecções por *Staphylococcus aureus* no hospital de clínicas da universidade federal de Uberlândia**. Uberlândia: UFU, Instituto de Ciências Biomédicas, 2005.

- CHATTERJEE, Amit; ISLAM, Muhammad S. Fabrication and characterization of TiO₂-epoxy nanocomposite. **Materials Science and Engineering**. USA, v. A 487, 574-585, 2008.
Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921509307018618>>. Acesso em: 10 dez. 2009.
- CHEN, Jun; POON, Chi-Sun. Photocatalytic activity of titanium dioxide modified concrete materials – Influence of utilizing recycled glass cullets as aggregates. **Journal of Hazardous Materials**, Berkeley, USA, v. 90, p. 3436-3442, 2009.
- CLSI. Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing. Twenty-First Informational Supplement. CLSI document M100-S21. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute, 2011.
- CORDEIRO, Angela Cristina de Souza; LEITE, Selma Gomes Ferreira; DEZOTTI, Márcia. Inativação por Oxidação Fotocatalítica de *Escherichia Coli* e *Pseudomonas Sp*. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 5, p. 689-694, 2004. Disponível em: <<http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2004/vol27n5/01-AR03125.pdf>>. Acesso em 01 nov. 2008.
- ITALCEMENTI GROUP. **TX Active® The Photocatalytic Active Principle**. Italy, Technical Report. Jun.2009.
- JOSÉ, Marconi Martins. **Falhas na biossegurança no Hospital Universitário São José**. Belo Horizonte: 2011. 10 p.
- LACKHOFF, M.; PRIETO, X.; NESTLE, N.; DEHN, F.; NIESSNER, R. Photocatalytic activity of semiconductor-modified cement-influence of semiconductor type and cement ageing. **Applied Catalysis B: Environmental**, Woensdag, Vol. 43, n. 3, 10 Jul. 2003, pp. 205-216.
- MAIER, W.; NILSSON, C.; HOLZER, M.; LIND, J.; ROSENBOM, K. Photocatalytic plaster for indoor air purification. 1º Congresso Nacional de Argamassa de Construção, Lisboa, 2005.
- MALVINO, Albert Paul. **Eletrônica: volume 1**. 4. Ed. São Paulo: Makron Books, 1995.

- MELO, G. B.; MELO, M. C.; CARVALHO, K. S.; GONTIJO FILHO, P. P. *Staphylococcus aureus* e estafilococos coagulase negativos resistentes à vancomicina em um Hospital Universitário Brasileiro. **Revista Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, Araraquara, v. 30, n. 1, p. 45-50, 2009. Disponível em: <http://200.145.71.150/seer/index.php/Cien_Farm/article/viewFile/905/761>. Acesso em: 13 ago. 2009.
- PEIXOTO, Eduardo Motta Alves. Titânio. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 23, maio 2006. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc23/a14.pdf>>. Acesso em 28 nov. 2008.
- PORTO C. H. S.; PINTO A. S.; LONGO E; PIZZOLITO A. C.; PORTO Neto S.T. **Fotocatálise heterogênea de *Enterococcus faecalis* e *Pseudomonas aeruginosa* desencadeada pela ação da luz UV e branca em espátulas com revestimento de nanopartículas TiO₂ e Ag**. Revista de Odontologia da UNESP. Araraquara. 2011; 40(1): 1-5.
- SAINT-GOBAIN GLASS. How does SGG BIOCLEAN[®] self-cleaning glass work? Disponível em: <<http://www.selfcleaningglass.com/self-cleaning-glass.asp>>. Acesso em: 17 nov. 2009.
- SALOMÃO, Maria Cláudia; DIAS, João Fernando; MARTINS, José Anceloann Lago Grande; SILVA, Turibio José da. Estudo sobre a utilização de resíduo de vidro em argamassas cimentícias. In: 52º Congresso Brasileiro do Concreto, 2010, Maceió. 52º Congresso Brasileiro do Concreto CBC2010. São Paulo - SP: Pouchain Ramos Ltda, 2010. v. 1. p. 1-12.
- SANTOS, Valquíria Claret dos; KONDO, Márcia Matiko. Imobilização de TiO₂ em Concreto: Fotodegradação de Clorofórmio E Fenol. **Química Nova**, São Paulo, v. 29, n. 2, p. 251-255, 2006. Disponível em: <<http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qnol/2006/vol29n2/14-AR05107.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2008.
- SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Lançado vidro auto-limpante. 22/10/2002. Online. Disponível em: <www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010160021022>. Acesso em: 13 nov. 2009.

SITE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA. Pesquisadores brasileiros criam bisturi autolimpante. 23/03/2006. Online. Disponível em: <<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010160060323>>. Acesso em: 13 nov. 2009.

STO. StoClimasan Color. Disponível em: <http://www.sto-sea.com/97104_EN-Highlights-StoClimasan_Color.htm>. Acesso em 3 mar. 2011.

TWIST, Jo. Eco glass cleans itself with Sun. BBC News Online science and technology staff, 8 Jun. 2004. Disponível em: <<http://news.bbc.co.uk/2/hi/technology/3770353.stm>>. Acesso em: 13 nov. 2009.

UNIALGAR.JPG. 2006. Altura: 250 pixels. Largura: 373 pixels. 72 dpi. 24 BIT. 27,1 Kb. Formato JPG. Disponível em: <http://www.unialgar.com.br/>. Acesso em: 07 jun. 2012.

ZIOLLI, Roberta Lourenço; JARDIM, Wilson F. Peixoto. Mecanismo de fotodegradação de compostos orgânicos catalisada por TiO₂. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 21, 1998.

=====

ANEXOS

ANEXO 1

Quadro com os principais produtos de desinfecção utilizados em ambientes de serviços de saúde, suas indicações e desvantagens.

PRODUTO DE DESINFECÇÃO	INDICAÇÃO DE USO	DESVANTAGEM
Álcool a 70%	Desinfecção de equipamentos e superfícies	Inflamável, volátil, opacifica acrílico, resseca plásticos e borrachas; Ressecamento da pele.
Compostos fenólicos	Desinfecção de equipamentos e superfície	Estão em desuso, devido à toxicidade. Com o uso repetido, pode causar despigmentação da pele e hiperbilirrubinemia neonatal, não sendo recomendado seu uso em berçários. É poluente ambiental. Proibido sua utilização em áreas de contato com alimentos devido à toxicidade oral.
Quaternário de amônia	Desinfecção de equipamentos e superfícies	Pode ser inativado em presença de matéria orgânica.
Compostos liberadores de cloro ativo	Desinfecção de superfícies não metálicas e superfícies com matéria orgânica.	Instável (afetado pela luz solar, temperatura >25°C e pH ácido). Inativo em presença de matéria orgânica; corrosivo para metais; odor desagradável, e pode causar irritabilidade nos olhos e mucosas.
Oxidante: Ácido peracético (associado ou não a peróxido de hidrogênio)	Desinfecção de superfícies	É instável principalmente quando diluído, corrosivo para metais (cobre, latão, bronze, ferro galvanizado) e sua atividade é reduzida pela modificação do pH. Causa irritação para os olhos e para o trato respiratório.

Fonte: Brasil (2010), adaptado pelo autor