

Monografia

"CONCRETO APARENTE: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL"

Autora: Raquel de Macedo Ribeiro

Orientadora: Prof.^a Maria Teresa Paulino Aguiar

Fevereiro/2010

Raquel de Macedo Ribeiro

**"CONCRETO APARENTE: UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A
CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL"**

Monografia - Curso de Especialização em Construção Civil
da Escola de Engenharia UFMG

Ênfase: Tecnologia das construções

Orientadora: Prof.^a Maria Teresa Paulino Aguiar

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2010

À Dra. Maria José de Macedo Ribeiro,
imensa gratidão.

AGRADECIMENTOS

Assinalo aqui, o meu reconhecimento, a minha gratidão, aos meus pais e, aos Professores do Curso de Especialização em Construção Civil, da Escola de Engenharia da UFMG, em especial, à Professora Dra. Maria Teresa Paulino Aguilár, ilustre orientadora deste trabalho.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1 <i>Conceito do Concreto aparente</i>	2
2.2 <i>Evolução Histórica</i>	2
2.3 <i>Características</i>	17
2.3.1 <i>Generalidades</i>	17
2.3.2 <i>Características do concreto aparente</i>	30
2.4 <i>Tipos</i>	46
2.4.1 <i>Concreto Cinza</i>	46
2.4.2 <i>Concreto Branco</i>	47
2.4.3 <i>Concreto Colorido</i>	51
2.4.4 <i>Concreto Fotografado</i>	55
2.5 <i>Avanço Tecnológico</i>	59
2.5.1 <i>Concreto com efeito fotocalítico</i>	59
2.5.1.1 <i>Concreto Autolimpante</i>	63
2.5.1.1.1 <i>Conceito</i>	63
2.5.1.1.2 <i>Propriedades</i>	63
2.5.1.1.3 <i>Formas de confecção</i>	67
2.5.1.1.4 <i>Aplicação no Brasil e no Mundo</i>	68
2.5.1.2 <i>Concreto Despoluente</i>	71
2.5.1.2.1 <i>Conceito</i>	71
2.5.1.2.2 <i>Propriedades</i>	71
2.5.1.2.3 <i>Formas de confecção</i>	73
2.5.1.2.4 <i>Aplicação no Brasil e no Mundo</i>	74

2.5.2 Concreto translúcido	75
2.5.2.1 Conceito	75
2.5.2.2 Propriedades	76
2.5.2.3 Formas de confecção	79
2.5.2.4 Aplicação no Brasil e no Mundo	83
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
4. CONCLUSÃO	95
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto 2.1: Barco em betão armado, 1849	3
Foto 2.2: Garage Ponthieu, Paris, 1907	3
Foto 2.3: Sala do Centenário, Breslau, Polônia, 1914	4
Foto 2.4: Goetheanum, Dormarch, Suíça, 1924	5
Foto 2.5: Ed. Industrial FIAT Lingotto, Torino, Itália, 1928.....	5
Foto 2.6: Ministério da Educação e Saúde, RJ,1936-45	6
Foto 2.7: Unité d’Habitation de Marselha, 1945-1949	6
Foto 2.8: Unité d’Habitation de Marselha - detalhe, 1945-1949.....	6
Foto 2.9: Capela Notre Dame du Haut, Ronchamp, França, 1955	7
Foto 2.10: Museu de Arte Moderna, Rio de Janeiro, 1953.....	7
Foto 2.11: Habitat, 1967, Montreal, Canadá - construção	8
Foto 2.12: Habitat, 1967, Montreal, Canadá	8
Foto 2.13: MASP- Museu de Arte de São Paulo,1958/1961	9
Foto 2.14: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU-USP, São Paulo, 1961	9
Foto 2.15: Construção de Brasília, Catedral - 1960	10
Foto 2.16: Hotel Unique, São Paulo, Brasil, 1995.....	12
Foto 2.17: Complexo cultural, Rennes, França.....	13
Foto 2.18: Pavilhão da Expo’98- Lisboa, Portugal	13
Foto 2.19: Museu Iberê Camargo, em Porto Alegre, Brasil,2008.....	14
Foto 2.20: Escola de desenho Zollverein, Alemanha, 2003-2006	14
Foto 2.21: Viaduto de Millau, Millau, França, 2001-2004	15
Foto 2.22: Projeto Intervenção Estádio Mineirão, BH, MG, para copa de 2014	16
Foto 2.23: Obra de arte Epopeia Paulista, estação da luz, 2004, São Paulo	43
Foto 2.24: Texturas a partir de fôrmas com relevo padrão madeira	43

Foto 2.25: Texturas a partir de fôrmas com relevo aplicação em fachada.....	43
Foto 2.26: Texturas a partir de fôrmas com relevos	43
Foto 2.27: Edifício TOD's Omotesando, 2004, Shibuya-ku, Tokyo, Japão	47
Foto 2.28: Casa Shell - em concreto aparente, Kitasaku, Nagano, Japão, 2008	47
Foto 2.29: Eberswalde Technical School Library, Eberswalde, Alemanha, 1999	56
Foto 2.30/2.31: Edifício Universidade Paul Sabatier, Toulouse, molde/fachada	57
Foto 2.32: Edifício Universidade Paul Sabatier, Toulouse, França	58
Foto 2.33/2.34: aplicação técnica que utiliza sistema de fôrma em baixo relevo	58
Foto 2.35: Igreja da Misericórdia, Roma, Itália	69
Foto 2.36: Sede da Air France, Aeroporto Charles de Gaulle, Paris, França.....	69
Foto 2.37: Cité des arts et de la musique, Chambéry	69
Foto 2.38: Imóvel em Ostende, Bélgica, 2005	70
Foto 2.39: Escultura -ponte di Minneapolis, 2008.	70
Foto 2.40: Centro de Pesquisa do grupo Italcementi, Bergamo, Itália, 2011	70
Foto 2.41: Pavimento blocos concreto fotocatalítico, Antuérpia, Bélgica.....	75
Foto 2.42: Rue Jean Bleuzen , Vanves, França – concreto despoluente.....	75
Foto 2.43: Concreto transmissor de luz - Litracon™.....	76
Foto 2.44: Fibra óptica.....	77
Foto 2.45: Cores padrão Litracon™ - Light Transmitting Concrete.....	78
Foto 2.46: Concreto translúcido- processamento.....	80
Foto 2.47: Concreto translúcido- dispersão orgânica das fibras.....	80
Foto 2.48: Memorial Iberville Parish Veterans, Baton Rouge, Louisiana, USA, 2008.....	84
Foto 2.49/50: Museum Cella Septichora, Káptalan utca, Pécs, Hungria.....	84
Foto 2.51: Pavilhão Italiano na Expo 2010 de Xangai, China.....	85
Foto 2.52: Pavilhão Italiano na Expo 2010 de Xangai, China- bloco.....	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1:	Tipos de concretos segundo valor de massa específica.....	21
Tabela 2.2:	Proporções Típicas de materiais em dosagens de diferentes resistências.....	22
Tabela 2.3:	Classificação dos agregados quanto ao tamanho e a massa unitária.....	33
Tabela 2.4:	Escala sugerida de visualização de acordo com o tamanho do agregado.....	35
Tabela 2.5:	Principais Recursos técnicos -aspectos do concreto aparente.....	39
Tabela 2.6:	Graus de Exposição de agregados	41
Tabela 2.7:	Principais processos de obtenção de textura no concreto aparente.....	42
Tabela 2.8:	Cores dos agregados.....	52
Tabela 2.9:	Teores de pigmentos normalmente empregados.....	54
Tabela 2.10:	Poluentes Atmosféricos.....	61
Tabela 2.11:	Mecanismo da fotocatalise no concreto fotocatalítico.....	61
Tabela 2.12:	Guia de ajuda de prescrição do concreto autolimpante.....	66
Tabela 2.13:	Composição, características cimento autolimpante, TX Arca ®.....	67
Tabela 2.14:	Composição e características do cimento despoluente TX Aria ®...	73
Tabela 3.1:	Relação componente/consumo no concreto comum.....	87
Tabela 3.2:	Principais vantagens do concreto aparente.....	92

LISTA DE NOTAÇÕES, ABREVIATURAS

E = módulo de elasticidade

NBR = Norma Brasileira

MPa= megapascal = 10^6 N/m²

μm= micrometro= 10^{-6} m

nm= nanômetro= 10^{-9} m

LEED= Leadership in Energy and Environmental Design (United States Green Building Council - Estados Unidos).

GBC Brasil = Green Building Council Brasil (Brasil)

GPa= gigapascal = 10^9 N/m²

RESUMO

O objeto do presente trabalho centra-se no **concreto aparente**, em pesquisa realizada na literatura pátria e alienígena, para fins acadêmicos. Convém anotar que para chegar ao tema, impõe-se abordar, ainda que em ligeiras pinceladas, aspectos históricos e tecnológicos do concreto o que adiante se verá.

A eleição do tema deve-se à sua importância no exercício da engenharia e arquitetura. Num país em desenvolvimento como o nosso, é de mais alta relevância o empenho na busca de conhecimentos que se nos apresentem soluções eficientes e, conseqüentemente, sustentáveis.

Daí a análise sistemática do produto da pesquisa, quanto ao surgimento do **concreto aparente**, sua originalidade, desenvolvimento tecnológico, seu valor estético, de proteção, durabilidade, econômico, preservação do meio ambiente, estágio atual, aplicabilidade aqui e mundo afora, e, finalmente, sua contribuição no que concerne a sustentabilidade, tudo amplamente exposto no texto, a que remeto o leitor.

1. INTRODUÇÃO

Objetiva o presente trabalho a busca de conhecimentos pertinentes à aplicação, tendências e avanços tecnológicos do **concreto aparente** na construção civil e, nesse contexto, avaliar sua sustentabilidade.

O concreto é o material de construção mais utilizado no mundo, depois da água, e em volume, é o produto mais fabricado atualmente. Participa ativamente do desenvolvimento mundial e da melhoria de qualidade de vida do ser humano, por se tratar de matéria-prima destinada a construção de abrigo e infra-estrutura, proporcionando conforto, saúde e segurança necessários à existência humana. O objeto arquitetônico, ao ser construído, passa a compor a paisagem urbana e a possuir valor estético, que além de ser parte do valor do empreendimento, é a primeira característica de uma construção percebida pelos sentidos e faculdades humanas. A multiplicidade de possibilidades de formas e dimensões inerentes ao concreto estrutural aliado aos diversos aspectos visuais possíveis dados por cores, texturas etc., conferem-lhe característica de material extraordinariamente versátil para a aplicação “aparente” nas construções, unindo desta forma, inventividade à técnica que, como veremos neste estudo, aplicada adequadamente, resulta em arquitetura resistente, harmoniosa, arrojada, durável e sustentável.

O presente trabalho apresenta conceito e histórico referentes ao **concreto aparente**, discorre sobre concreto, durabilidade e degradação, descreve características e tipos de **concreto aparente**, discorre sobre os avanços tecnológicos - as soluções inovadoras (Concreto Fotocatalítico e Concreto Translúcido) - mostrando sua aplicação atual no Brasil e no mundo e analisa-o sob o ponto de vista da sustentabilidade, como solução para redução do impacto ambiental causado pela construção civil e concepção de arquitetura que atenda aos anseios contemporâneos funcionais, estéticos e de compatibilidade com o meio ambiente.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Existe vasta literatura que trata do concreto como um todo, ponto de partida deste trabalho que reúne, neste tópico, informações sobre o **concreto aparente** na construção civil.

2.1 Conceito do Concreto Aparente

Segundo RIVERA (2007, pg.9), em Cartilha destinada a Contratação, Execução e Recebimento de Concreto com Superfícies Aparente Conformadas, apresentada em 1976 pelo Instituto Alemão do Concreto e a Associação Federal Alemã, veio a lume a primeira definição de concreto aparente – “concreto aparente é o concreto cujas superfícies visíveis cumprem funções estéticas e apresentam uma aparência previsível”.

2.2 Evolução Histórica

Preleciona ISAIA (2005, pg.2), que o concreto, utilizado como material de construção há milênios antes de Cristo na Galiléia e posteriormente por gregos e romanos, ressurge para ficar na história da construção civil a partir da criação do cimento Portland – cujo nome foi atribuído em razão da semelhança desse cimento endurecido com o calcário da península de Portland - por John Smeaton em 1756, e da patente registrada, em 1824, pelo inglês John Aspdin.

Ainda no século XIX, foram de grande relevância a criação do concreto estrutural, materializado no barco de autoria do francês Joseph-Louis Lambot (Figura 2.1) - primeira obra em concreto armado que data de 1849 – e as suas primeiras aplicações na construção civil, com destaque para os trabalhos de Joseph Monier a partir de 1849, incluindo a primeira ponte construída nesse sistema, em 1875, e a realização de pavimentos armados por Francois Coignet e William

Wilkinson a partir de 1852. O concreto armado revolucionou as técnicas da construção civil ao apresentar vantagens técnicas e econômicas sobre os demais materiais disponíveis para o uso estrutural.

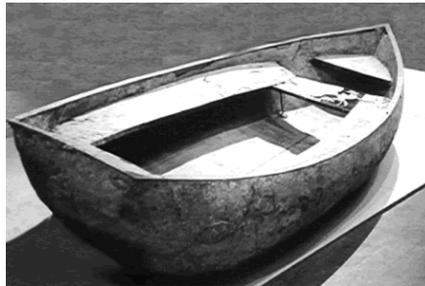


Foto 2.1: Barco em betão armado, autoria do francês Joseph-Louis Lambot, 1849.

Fonte: <http://www.arch.mcgill.ca/prof/sijpkes/abc-structures-2005/concrete/timeline.html>

A virada do século XIX foi um período de avanços na história do concreto estrutural, tanto na parte tecnológica, relativo aos sistemas estruturais, métodos de cálculo, emprego e possibilidades de uso, quanto na teórica, quando iniciaram as publicações técnicas e a normatização de uso. Neste período o concreto armado começa a ser utilizado como expressão arquitetônica pelos arquitetos franceses Anatole de Baudot (igreja St. Jean Évangéliste, Paris 1894), Auguste Perret (Figura 2.2) e Henri Sauvage e pelo alemão Max Berg, pioneiros nessa utilização.

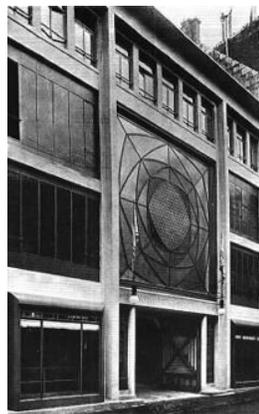


Foto 2.2: Uma das primeiras obras arquitetônicas em que a estética da estrutura de concreto é explorada- Garage Ponthieu, Paris- arquiteto Auguste Perret, 1907.

Fonte: <http://eng.archinform.net/projekte/526.htm>



Foto 2.3: Sala do Centenário, Breslau, Polônia, obra do arquiteto Max Berg e do engenheiro Trauer, 1914- grande obra, precursora na diversificação de formas e no uso do concreto aparente. Fonte: artistsunite-ny.org/blog/?m=200807

No Brasil, de acordo com ISAIA (2005, pg.46), o primeiro edifício em concreto estrutural, situado à rua S. Bento, na cidade de São Paulo, data de 1909. A utilização desse concreto se fez de forma notável, a partir do início do século XX, por profissionais de vanguarda, como o engenheiro Emilio Baumgart (Figura 2.6), em construções que se destacaram no cenário internacional – prédio Martinelli, SP, 1929; ponte Emilio Baumgart, SC; Ed. A Noite, RJ, 1928; Ed. Itália, SP, 1959, etc.

A primeira metade do século XX foi para a história do concreto, um período de consolidação e aplicação de conhecimentos, descoberta de seus potenciais, experimentações, tudo dentro de um cenário histórico marcado pelas duas grandes guerras. Foi nesse contexto que surgiu o concreto protendido, fabricado primeiramente em 1919 na Alemanha, teve tecnologia desenvolvida pelo engenheiro civil francês Eugene Freyssinet, que inventou métodos construtivos, equipamentos, etc... A primeira obra construída com esse sistema estrutural no Brasil foi a ponte Galeão, no Rio de Janeiro, em 1948, projeto do próprio Freyssinet.

Até o final da segunda guerra mundial o concreto foi utilizado em edificações com finalidade predominantemente estrutural, sendo revestido por diversos

materiais (argamassas, cerâmicas, pedras, etc.), já que sua estética era considerada pouco atrativa para ficar exposta (SILVIO, 1995, pg.5), no entanto, nesta primeira metade do século XX, arquitetos como Steiner (Foto 2.4), Frank Lloyd Wright, Loos, Gropius, Aalto, Le Corbusier, Marcel Breuer dentre outros, fizeram trabalhos significativos na exploração da plasticidade e de texturas do concreto.



Foto 2.4: Goetheanum, Dormarch, Suíça, 1924- obra do arquiteto Rudolf Joseph Lorenz Steiner , obra de relevância na representação do potencial plástico do concreto, concreto aparente, textura regular. Fonte: <http://en.wikipedia.org/wiki/Goetheanum>

Foto 2.5: Ed. Industrial FIAT Lingotto, Torino, Itália - obra Mattè Trucco , 1928. Fonte: <http://fiftyhunter91.wordpress.com/2009/05/26/pin-acoteca-agnelli/>

Conforme o CIMBÉTON (2009, pg 29), o edifício industrial da FIAT Lingotto (Foto 2.5), em Torino, Itália, inaugurado em 1928, obra de Mattè Trucco, foi representativo da arquitetura do betão, sendo inclusive, obra inspiradora para projetos do arquiteto franco-suíço, discípulo de Perret, Le Corbusier (1887-1965), cuja arquitetura influenciou a arquitetura mundial (Brasil, EUA, França, Itália, Alemanha, Inglaterra, Japão, Chile, México, etc.) do século XX, em especial e com grande relevância para a história do **concreto aparente**, a partir do projeto da Unité d'Habitation de Marselha (Foto 2.7), 1945-1949, onde aplicou pintura diretamente sobre o concreto desformado e expôs o concreto bruto, marcado pela textura das fôrmas de madeira natural (Foto 2.8), técnica de marcante expressividade plástica, adotada, internacionalmente, pela arquitetura Brutalista.



Foto 2.6: Ministério da Educação e Saúde (atual Palácio Capanema), Rio de Janeiro. arquiteto Lúcio Costa e equipe (Carlos Leão, Oscar Niemeyer, Affonso Eduardo Reidy, Ernani Vasconcellos e Jorge Machado Moreira), com a consultoria do arquiteto franco-suíço Le Corbusier e, projeto estrutural de Emilio Baumgart, 1936-45. Foto Nelson Kon.

Fonte: www.vitruvius.com.br/.../luciocosta_4.asp



Foto 2.7: Unité d'Habitation de Marseille (1945-1949), *Le Corbusier*. Foto: ferranimaribel

Fonte:

<http://www.flickr.com/photos/ogil/37458905/>



Foto 2.8: detalhe Unité d'Habitation de Marseille (1945-1949), *Le Corbusier*.

Fonte:

<http://www.flickr.com/photos/clydehouse/2056418896/favorites/>

Foi a partir do fim da segunda guerra mundial, diante da necessidade premente de reconstrução, que requeria eficiência, prazos e custos otimizados, que o uso do concreto estrutural se intensificou e disseminou pelo mundo. Houve aceleração no desenvolvimento tecnológico do concreto e na exploração de suas potencialidades, inclusive como solução de acabamento, estética, representando importante momento da história do **concreto aparente**. Segundo ANDRADE, T. e SILVA A.J.C. (2005), no Brasil, a intensificação do uso do concreto armado, em

obras de infra-estrutura e de edificações em geral, se deu a partir da segunda metade do século XX em decorrência do crescimento urbano em função do êxodo rural constante e crescente da população a procura de oportunidades nas cidades.

No período pós-guerra, surgiu o Brutalismo, movimento arquitetônico internacional ocorrido entre as décadas de 50 e 80 e realizado por modernistas que defendiam, dentre outros preceitos, a exposição das estruturas nas construções (Foto 2.10). Desenvolveu-se simultaneamente em vários países e passou de tendência à expressão arquitetônica internacional dominante entre os arquitetos a partir de 1960, sendo largamente empregado até o final da década de 80 (ZEIN, 2007,2006).

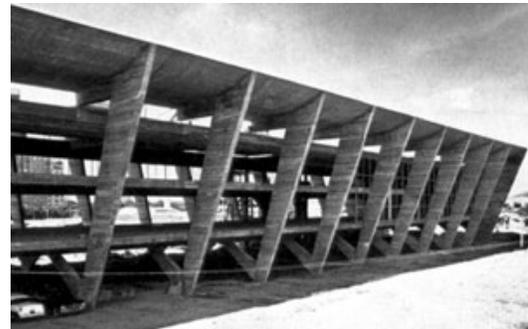


Foto 2.9: Capela Notre Dame du Haut, Ronchamp, França , 1950 - 1955, Le Corbusier - início fase Brutalista

Fonte:<http://bhpbrasil.spaces.live.com/Blog/cns!CBF475499EC82673!14199.entry>

Foto 2.10: Museu de Arte Moderna, Rio de Janeiro, 1953. Afonso Eduardo Reidy

Fonte:

http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq084/arq084_00.asp

O Brutalismo produziu, em todo o mundo, grande quantidade de construções em concreto estrutural aparente bruto, sendo que o aspecto final das superfícies era definido pelo acabamento final da fôrma – dimensões, orientação, textura, juntas, etc.(Foto 2.8) - e pela cor cinza, natural do concreto. Ainda caracterizavam esta arquitetura, dentre outros, a utilização de *brises* e outros elementos pré-fabricados em concreto (ZEIN, 2007,2006).



Foto 2.11: Habitat, 1967, Montreal, Canadá – unidades de habitação pré-fabricadas - construção. Fonte: <http://www.arquitetura.pt/forum/f11/moshe-safdie-habitat-67-canad-2589.html>



Foto 2.12: Habitat, 1967.. – aplicação do concreto aparente em arquitetura original. Foto: Francisco Spadoni .Fonte: www.vitruvius.com.br/.../arq102/arq102_00.asp

De acordo com RIVERA (2007), discordâncias técnicas e judiciais, envolvendo o concreto arquitetônico, deram origem, no início dos anos 60, ao Comitê W29: *Concrete Surface Finishes*, importante passo na orientação dos envolvidos rumo à obtenção de concreto uniforme, sem defeitos e de qualidade, criado pelo *Conseil International du Bâtiment Pour La Recherche l'Etude et la Documentation*.

No Brasil, a tendência Brutalista tem início nos anos 50, época da construção de Brasília (Foto 2.15) , com a escola carioca (Foto 2.10) e a escola paulista (Foto 2.13; 2.14). Essa última, que também sofreu influência do construtivismo russo, desenvolveu arquitetura que valorizava a técnica construtiva, a estrutura e adotava o concreto armado aparente, pregava a modernização técnica da construção civil através do emprego do concreto armado, da racionalização, da pré-fabricação e mecanização do canteiro de obras. Fizeram parte dessa escola os arquitetos João Batista Vilanova Artigas, Carlos Cascaldi, Carlos Millan, Lina Bo Bardi, Fábio Penteadó, Telésforo Cristófani, Hans Broos, Rino Levi, Israel Sancovski, Paulo Mendes da Rocha, Joaquim Guedes, Francisco Petracco, Pedro Paulo de Mello Saraiva, Paulo Bastos, Ruy Othake, João Walter Toscano,

dentre muitos outros. Já a escola carioca, de Affonso Eduardo Reidy, Lúcio Costa, Oscar Niemeyer, e outros, utilizava a linguagem moderna, racionalista e, ao mesmo tempo, pretendia criar uma arquitetura representativa da identidade nacional (ZEIN, 2007,2006).



Foto 2.13: MASP- Museu de Arte de São Paulo(1958/1961),Lina Bo Bardi.

Fonte:

6edancacavalomarinho.blogspot.com/2009/10/art...



Foto 2.14: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAU-USP, São Paulo. Arquitetos Vilanova Artigas e Carlos Cascaldi, 1961.

Foto AG.

Fonte: www.vitruvius.com.br/.../arq000/esp506.asp

A construção de Brasília foi uma experiência importante para a história do concreto, da arquitetura e da construção civil brasileira, dentre outros, pelo volume de trabalho a ser realizado em prazo exíguo e pela aplicação de técnicas que atendessem à elaboração de grandes vãos livres e de formas inusitadas. Engenheiros e arquitetos envolvidos tomaram contato com a necessidade de racionalização no uso do concreto. Mais tarde, o excepcional crescimento econômico, entre as décadas de 70 e 80, época do milagre econômico brasileiro, resultou em grandes investimentos na construção civil.



Foto 2.15: Construção de Brasília, projeto urbanístico de Lúcio Costa e, Catedral - estrutura em concreto armado, construída em 1960, projeto estrutural de Joaquim Cardozo e arquitetônico de Oscar Niemeyer - que utiliza o concreto armado como matéria básica de suas obras explorando sua plasticidade. Fonte: <http://ultimaparada.wordpress.com/2009/04/21/brasilia-49-anos-imagens-da-construcao/>

Além dos requisitos de eficiência, nessa segunda metade do século XX, a demanda de construções flexíveis, de grandes vãos livres, com estrutura minimalista, orienta a evolução da tecnologia aplicada à construção civil para a obtenção de materiais e soluções de alta performance, que, aplicadas à construção, produzam estruturas mais resistentes, com seções otimizadas e mais leves. Neste contexto transcorreu a evolução dos sistemas de cálculo e dimensionamento, avanços tecnológicos da indústria do cimento e das ciências dos materiais, estudos da microestrutura do concreto – resultando em produtos com maiores resistências e qualidade - desenvolvimento de equipamentos e técnicas construtivas, evolução dos sistemas pré-fabricados, tudo isso foi ocorrendo paralelamente e inter-relacionado com a aplicação contínua e crescente do concreto pela construção civil, em edifícios, obras de arte (pontes, viadutos, etc.), estádios de futebol (Foto 2.22), reservatórios, barragens, monumentos, infra-estruturas, etc. As construções em concreto estrutural superavam as anteriores e eram superadas sucessivamente por outras em desempenho, eficiência, altura, tamanho, vãos, formas, etc. através da aplicação de novas técnicas que reafirmavam a versatilidade e utilidade do betão. Toda essa evolução incrementou a diversificação dos cimentos e concretos, através da incorporação de pigmentos, de adições, de aditivos. Concretos de elevadas resistências à compressão - de 60 a 120 MPa- passaram a ser produzidos a

partir da década 70, com o aparecimento dos aditivos superplastificantes e redutores de água especiais.

Nota-se, entretanto, que essa velocidade das construções, imposição dos tempos, a redução das seções das estruturas em face de utilização de cimentos mais resistentes com conseqüente diminuição de espessura da camada de cobrimento da armadura, a inobservância de requisitos de durabilidade, a má utilização e falta de manutenção, tudo isso, próprio de um material novo, em processo de desenvolvimento, resultou no surgimento precoce de patologias e, com o passar do tempo, as construções feitas em concreto armado começaram a apresentar problemas e demandar altos investimentos em reparo e manutenção. Fato que elevou a durabilidade a requisito primordial para estruturas, equiparado à resistência e deu ensejo ao início dos estudos das patologias do concreto, que vêm permitindo ampliar o conhecimento sobre o material e avançar ainda mais no desenvolvimento de novas tecnologias. No Brasil, segundo ANDRADE T. (2005, pg.756), foi a partir da tese de livre Docência do Professor Paulo Helene , em 1993, que as pesquisas na área de durabilidade tiveram início.

Como vimos, os requisitos de desempenho do concreto evoluíram nos últimos 60 anos: inicialmente, diziam respeito apenas ao comportamento mecânico, posteriormente lhe foram agregados a durabilidade, e mais recentemente a sustentabilidade - a partir da redação do Relatório Brundtland, em 1987, onde o desenvolvimento sustentável ficou compreendido como “o desenvolvimento que satisfaz as necessidades presentes, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de suprir suas próprias necessidades” (Wikipédia) - e a estética.

Preleciona ISAIA (2005, p. 40) que o concreto se beneficiou dos avanços que a Ciência e Engenharia dos Materiais teve nos últimos 30 anos. Realmente, estes avanços propiciaram construções inéditas sob o mar, em desertos e em regiões polares. Estudos envolvendo pasta, agregados, zonas de transição, acarretaram evolução significativa e desenvolvimento de novos concretos (uso de nanopartículas de sílica, etc.), mais resistentes, mais compactos. Como exemplo,

podemos citar o CAD- Concreto de Alto Desempenho - que surgiu no início dos anos 90, de elevada resistência, durabilidade, dentre outras vantagens. O CAD foi utilizado na construção de edifícios recordes em altura em seus respectivos tempos: as torres Petronas, em Kuala Lumpur, na Malásia, em 1997 e; o Burj Dubai , Dubai, Emirados Árabes, em 2010. No Brasil, podemos citar o edifício comercial e-Tower, em São Paulo, concluído em 2005, arquitetura de Aflalo & Gasperini, 10º edifício mais alto do Brasil, no qual foi utilizado CAD colorido que atingiu, no canteiro, resistência à compressão de 125 Mpa, valor recorde nesse país. Também para atender aos novos requisitos, os pigmentos minerais foram desenvolvidos na década de 90 de forma a obter concretos coloridos mais estáveis.

Na arquitetura, embora o concreto aparente tenha sido o material de expressão do Brutalismo, o fim deste não significou o fim do primeiro, muito pelo contrário, a partir dos anos 80, passa a ser aplicado a diversos estilos arquitetônicos, a ter exploradas as suas potencialidades plásticas, volumétricas, e os recursos técnicos de acabamento - liso, com texturas diversas, colorido, branco, fotografado, etc.



Foto 2.16 : Hotel Unique, São Paulo, Brasil, 1995, Arquiteto Ruy Ohtake - concreto aparente jateado colorido. Fonte: alessandraigue.wordpress.com/.../



Foto 2.17: Complexo cultural, Rennes, França, Arquitetura Christian de Portzamparc -concreto arquitetônico, com textura padrão granito e quartzo, cor rosa púrpura.

Fonte: <http://www.arcoweb.com.br/arquitetura/christian-de-portzamparc-complexo-cultural-28-11-2006.html>

Embora o cimento branco seja fabricado desde a década de 30, do século passado, de acordo com KIRCHHEIM, PASSUELO, MOLIN, SILVA FILHO (2005), é recente o uso do concreto aparente branco e constitui tendência mundial. Tem sido utilizado com finalidade estética e de sustentabilidade por arquitetos como Santiago Calatrava, Richard Meyer, Álvaro Siza, dentre outros. No Brasil, as primeiras obras em concreto aparente branco foram o edifício Flexotronics, em Sorocaba, SP, concluído em 2000, que utilizou painéis pré-moldados e o condomínio Panamerica Park, construído em São Paulo, em 2002, feito com concreto branco com agregado branco exposto através de jato de areia. A construção do Museu Iberê Camargo, em Porto Alegre, projetado por Álvaro Siza, concluída em maio de 2008, representou importante aplicação tecnológica desse concreto no Brasil.



Foto 2.18: pavilhão da Expo'98- Lisboa, Portugal, arquiteto Álvaro Siza-cobertura em concreto com 20 cm de espessura. Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/%C3%81lvaro_Siza_Vieira



Foto 2.19: Museu Iberê Camargo, em Porto Alegre, Brasil, projeto Álvaro Siza- Foto Fábio Del Re. Fonte: http://www.iberecamargo.org.br/content/nova_sede/maquetes.asp



Foto 2.20: Escola de desenho Zollverein, Alemanha, 2003-2006 – arquitetura SANAA - arquitetura simples, expressão estética japonesa. Fonte: <http://www.vitruvius.com.br/minhacidade/mc216/mc216.asp>

Importante contribuição tem dado os arquiteto japoneses - Tadao Ando, Kenzo Tange, Toyo Ito, Jun Aoki, SANNA, dentre outros - que desde o pós-guerra, utilizam o concreto aparente, explorando ao máximo seus recursos técnicos, estruturais e plásticos (texturas, incrustações, etc.). Também é relevante a contribuição de pesquisadores japoneses para os avanços tecnológicos dos concretos. Pesquisas envolvendo o dióxido de titânio, iniciadas no Japão, em 1970, por Honda, foram a origem do concreto fotocatalítico que, juntamente com o concreto translúcido, criado pelo arquiteto Húngaro Aron Losonczi, representam importantes inovações tecnológicas do concreto aparente, na virada do século XX, que examinaremos neste trabalho.

Nesses dez primeiros anos do século XXI temos presenciado a realização de grandes obras em todo o mundo (foto 2.21) onde a engenharia supera limites e a arquitetura, como podemos ver nos projetos de Zaha Hadid, Norman Foster, Tadao Ando, Fank Gehry, Jean Nouvel, dentre tantos outros, explora formas e efeitos de sorte a criar obras personificadas, únicas. Essas obras também envolvem valores tecnológicos (sistema de automação, etc.) e sustentáveis, esses últimos medidos pela certificação verde (LEED, desde 1998, etc.), que classifica a obra construída segundo sua sustentabilidade, segundo avaliação do

atendimento a critérios de racionalização de recursos (materiais, energia, água etc.). A industrialização aplicada à construção civil também tem sido utilizada e representa um ideal na obtenção de padronização, racionalidade, qualidade e sustentabilidade.

No campo da pesquisa, o estudo do concreto, da dimensão nano à macro, continua a promover avanços tecnológicos. Tendência de todas as áreas correlatas ao concreto, o que percebemos através dos avanços das indústrias de equipamentos e nos sistemas de gestão da construção civil, sistemas projetuais e de cálculo de estrutural, nas metodologias para avaliação de desempenho de materiais e de estruturas, nos sistemas para cálculo de previsão de vida útil, tudo isso beneficiado também pelos avanços tecnológicos aplicados da tecnologia da informação à construção civil e à ciência dos materiais.



Foto 2.21: Viaduto de Millau, Millau, França, 2001-2004 - a mais alta ponte para veículos do mundo, utiliza sistema misto, concreto e cabos de aço. Projetos do arquiteto inglês Norman Foster e do engenheiro francês Michel Virlogeux. Possui 343 metros de altura e 2460 metros de comprimento. Composta por sete pilares de concreto armado, o mais alto com 245m. Consumiu 85 000 m³ de concreto (206 000 t), 19.000 t de aço para a estrutura e mais 5.000 t de aço pré-estirado para o estaiamento. Vida útil estimada em 120 anos. Fonte:<http://www.leviaducdemillau.com/english/professionnels/tarifs-pro.html>

Atualmente, arquitetos brasileiros, como Paulo Mendes da Rocha, Oscar Niemeyer, Ruy Ohtake, Sidônio Porto, Gustavo Penna, Aflalo e Gasperini, dentre tantos outros, fazem uso do concreto aparente em seus projetos. É sabido que o Brasil acompanha as tendências mundiais descritas acima, de busca de inovação

e sustentabilidade (concreto branco, GBC Brasil, etc.- foto 2.22) dentro da realidade e do ritmo impostos pela condição de país em desenvolvimento, cujo território é extenso e as realidades sócio-econômicas diversas. Sendo assim, os avanços são localizados, realizados na medida dos investimentos, no entanto, o concreto aparente é utilizado, indiscriminadamente, em todo o país, em obras de infra-estrutura, equipamentos urbanos, edifícios, etc., participa das construções, desde as mais simples às mais arrojadas, realizadas para atender necessidades dos brasileiros (habitação, escolas, estabelecimentos de saúde, de lazer, industriais, etc.). País esse, rico em recursos naturais e humanos, criativo por tradição, que cresce e possui prognósticos de grandes investimentos na área da construção civil nos próximos anos para atender demandas internas e sediar a Copa do Mundo, em 2014, e as Olimpíadas, em 2016.



Estádio Governador Magalhães Pinto – Mineirão, Pampulha, Belo Horizonte, MG- projetado por Eduardo Mendes Guimarães e Gaspar Garreto, inaugurado em 1965, tombado.

Foto 2.22: Projeto de intervenção - aumento de capacidade, acréscimo de áreas de apoio, modernização, atendimento aos requisitos da Fifa para a Copa de 2014, concorre a certificação LEED. Projeto: Gustavo Penna Arquiteto & Associados, Brasil; Von Gerkan, Marg und Partners-GMP e; Schlaich, Bergemann und Partners – SBP, Alemanha.

Fonte: http://www.noh.com.br/?pg=noticias_corpo_default&codigo=173

2.3 Características

A compreensão das características do concreto aparente (item 2.3.2) requer exame prévio, em linhas gerais, das características do concreto, bem assim, de conhecimentos relativos a patologias e durabilidade, como a seguir se fará.

2.3.1 Generalidades

Concreto

Na concepção de MEHTA e MONTEIRO (2008, pg.10), concreto é um material compósito, composto por matriz - meio aglomerante, comumente formado por cimento hidráulico e água - e elemento de reforço (agregados como brita e areia), podendo conter ainda aditivos, fibras, pigmentos e adições em benefício de propriedades mecânicas, físicas e de durabilidade. Quando para uso estrutural, requer a união a material resistente à tração, geralmente o aço, na forma de barra ou cabo, formando o concreto estrutural, resistente às solicitações de tração, de compressão e à flexão.

O concreto é um material de fácil execução, composto por materiais simples, que possui microestrutura complexa, heterogênea, composta por sólidos e vazios contendo soluções alcalinas. É um produto não estático - a palavra concreto vem do latim *concretus*, que significa crescer - apresenta alterações, ao interagir com as condições ambientais e ao longo do tempo, da pasta de cimento, da zona de transição entre agregado e pasta, da resistência. Segundo MEHTA e MONTEIRO (2008, pg.3), dentre as várias características que justificam o fato do concreto ser o material de construção mais utilizado no mundo depois da água, pode-se citar:

- A diversidade de aplicação (edifícios, obras de infra-estrutura, etc.);
- A resistência do concreto à água (caixas d'água, barragens, represas, canais, pavimentos, estruturas etc.);

- a excelente moldabilidade dada pela consistência plástica no estado fresco do concreto, que facilita a obtenção de infinitas formas e tamanhos de elementos estruturais;
- a facilidade de obtenção e o baixo custo do material.

O concreto é um material que apresenta duas fases: o concreto fresco e o concreto endurecido. De acordo com HELENE e ANDRADE (2005, pg. 929), o estado fresco dura de uma a cinco horas, tempo que compreende os processos de mistura, transporte, lançamento e adensamento. A trabalhabilidade é propriedade do concreto fresco, que possibilita a sua passagem por todos esses processos, mantendo-se homogêneo. Influi diretamente na construtibilidade, no custo e na qualidade do concreto - nos desempenhos mecânico, de durabilidade, de sustentabilidade e estético.

Preleciona GUIMARÃES (2005, pg.474), que a trabalhabilidade deve ser determinada em função das condições dos referidos processos, das características das fôrmas, disposição e densidade de armadura, da técnica a ser utilizada, da geometria da peça estrutural, do tipo de acabamento especificado, dentre outros. Fluidez e coesão são qualidades do concreto, indispensáveis durante o processo de execução. O concreto fluido e coeso passa por todos os obstáculos preenchendo toda a fôrma da peça estrutural sem que ocorram falhas, exsudação e segregação. Relaciona o mesmo autor (ob. cit., pg.476), os seguintes fatores que afetam a trabalhabilidade:

- O consumo de água - mantendo mesma quantidade de cimento e acrescentando quantidade de água (aumento do fator água/cimento) obtem-se: maior trabalhabilidade, maior fluidez, menor coesão; aumento da porosidade; diminuição da resistência, da durabilidade e da vida útil da estrutura.
- Agregados – Tamanho: é necessária uma quantidade mínima de finos para garantir a coesão. Formato e textura- agregados angulosos, alongados e ásperos, requerem mais pasta de cimento para alcançar a

trabalhabilidade ideal, o que eleva o custo. Ensina MEHTA e MONTEIRO (2008, pg278), que a granulometria contínua, com equilíbrio na proporção dos quantitativos de dimensões, produz concreto trabalhável e econômico.

- Consumo de cimento - baixo consumo de cimento produz concreto áspero, de difícil acabamento e superfície de baixa qualidade estética.
- Relação água/cimento, agregado/cimento e consumo de cimento- para mesmo consumo de água, se aumenta o cimento, maior a trabalhabilidade e coesão. Aumentando apenas a relação agregado/cimento, haverá diminuição de água e, reduzindo água, diminui a trabalhabilidade.
- Adições – Cinza volante em substituição de parte do agregado miúdo aumenta a coesão e diminui a trabalhabilidade. O filler, como agregado ultrafino concede trabalhabilidade para concreto bombeado.
- Aditivos – Incorporador de ar aumenta a consistência e a coesão do concreto, aumenta a porosidade, mas aumenta a trabalhabilidade, o que permite reduzir o fator água/cimento, que diminui a porosidade, mantendo, finalmente, a porosidade que teria sem o aditivo. Plastificantes e superplastificantes aumentam a trabalhabilidade por tempo específico, possibilitando concretos com baixo fator água/cimento, estruturas de altas resistências e durabilidade.

A segunda fase - concreto endurecido - que dura por toda a vida do concreto tem início na hidratação do cimento. Segundo ANDRADE (2005, pg. 931) o grau de hidratação e o fator água/cimento são os principais parâmetros que dirigem as propriedades do concreto, que é um material conhecido pela capacidade de resistir aos esforços de compressão. A resistência à compressão é diretamente relacionada à durabilidade das estruturas, que vai depender também de várias outras características da construção e seu entorno, como veremos neste estudo. Conforme MEHTA e MONTEIRO (2008, pg.16), é na microestrutura complexa e heterogênea do concreto, composto por agregados, pasta de cimento e zonas de

transição, na interface desses componentes que conhecemos melhor as características do concreto, que encontramos explicações para a diferença entre os valores ótimos de resistência à compressão do concreto e os baixos de resistências à tração (aproximadamente 10% da resistência à compressão), e à flexão (15% da resistência à compressão). Valores que explicam a necessidade de acréscimo de material resistente à tração, como o aço, ao concreto, na composição de material para uso estrutural. A resistência à compressão do concreto é diretamente proporcional à compactidade. Concretos de Ultra-Alto-Desempenho, com resistência à compressão superior à 200MPa foram concebidos a partir da redução de vazios em seu interior.

Ainda segundo os autores, o concreto não possui as mesmas características de seus componentes. Normalmente, quando submetido a esforços de compressão sofre comportamento elástico antes de sofrer alguma *deformação plástica* e finalmente romper, diferentemente dos agregados que rompem em estado elástico e possuem resistências superiores às do concreto. A relação tensão/deformação reversível, dada por E (*módulo de elasticidade*), no concreto, na compressão, varia de 14 à 40GPa. O E do concreto se refere ao comportamento da estrutura, é importante dado que orienta sua desfôrma. O Limite elástico descreve a tensão máxima permitida antes da deformação permanente da peça de concreto. Acima deste limite ocorre a *deformação plástica* que é permanente e ocorre antes da ruptura. Sua quantidade mede a *ductilidade* do material e *tenacidade* é a energia necessária para romper o material. Geralmente, a resistência do material cresce em proporção inversa aos valores da ductilidade e da tenacidade, quanto mais resistentes, menor a deformação plástica que leva ao rompimento. O concreto não é considerado dúctil e não é indicado para suportar sobrecarga de alto impacto - exceto quando armado - possui deformação na fratura muito baixa (2.000×10^{-6}).

O concreto, quando sujeito a alterações de umidade e temperatura, pode sofrer deformação por retração. A retração restringida gera tensões de tração que ocasionam fissuras no concreto, que, como veremos adiante, são vias de penetração de substâncias nocivas. A retração por secagem, pode ocorrer quando

o concreto úmido, em estado fresco, entra em contato com a umidade ambiente, e a retração térmica, quando a peça de concreto, aquecida pela hidratação do cimento, sofre resfriamento. A permeabilidade do concreto - função da dosagem, do adensamento, da cura e das fissuras, decorrentes de retrações - é inversamente proporcional à sua durabilidade.

O concreto pode ser classificado segundo sua massa específica, conforme descrito na Tabela 2-1.

TABELA 2.1 Tipos de concretos segundo valor de massa específica.

Tipo	Massa Específica Kg/m ³	Aplicação
Concreto de densidade normal	~2.400	Estruturas em geral
Concreto leve	< 1.800	Requisito valor alto de resistência/peso
Concreto pesado	>3.200	Blindagem contra radiação

Fonte: (MEHTA P.K., MONTEIRO P.J.M.pg 14).

Quanto à resistência à compressão, temos três tipos de concreto: de baixa resistência (< 20MPa), de resistência moderada (de 20MPa a 40MPa), esse aplicado na maioria das estruturas, e de alta resistência (>40MPa), para utilizações especiais (Tabela 2-2).

TABELA 2.2 Proporções Típicas de materiais em dosagens de diferentes resistências.

	Baixa Resistência Kg/m ³	Resistência Moderada Kg/m ³	Alta Resistência Kg/m ³
Cimento	255	356	510
Água	178	178	178
Agregado miúdo	801	848	890
Agregado graúdo	1169	1032	872
Proporção de pasta de cimento:			
% em massa	18	22,1	28,1
% em volume	26	29,3	34,3
Água/cimento em massa	0,70	0,50	0,35
Resistência, MPa	18	30	60

Fonte: (MEHTA P.K., MONTEIRO P.J.M. - 2008, pg. 15).

Além do concreto convencional de cimento Portland, como já relatado, diversos tipos de concreto vêm sendo desenvolvidos para atender demandas específicas relativas ao meio ambiente ao qual estará sujeito, ao tempo de execução, à configuração arquitetônica projetada, aos requisitos de durabilidade, técnicos e de sustentabilidade. Esses concretos diferem entre si a partir de alterações no traço, dos componentes utilizados, das adições (de sílica ativa, de metacaulim, de pozolanas, de cinzas volantes, de escórias) e aditivos (superplastificantes, plastificantes, redutores de água, retardadores, aceleradores, inibidores de corrosão), dos métodos, processos e equipamentos utilizados na produção. São tipos de concretos especiais, dentre outros:

- Concreto Estrutural Leve
- Concreto Auto-adensável
- Concreto de Alto Desempenho
- Concreto com Retração Compensada
- Concreto de Retração reduzida
- Concreto com cura interna
- Concreto reforçado com Fibras

- Concretos para estruturas pré-fabricadas
- Concretos de Ultra-Alto-Desempenho

Desde o início o aço tem sido o grande aliado do concreto para elevar a resistência aos valores necessários ao uso estrutural e, conforme vimos, pode ser utilizado no sistema armado e protendido. Segundo MEHTA e MONTEIRO (2008, pg. 6) *concreto armado* é o que normalmente contém barras de aço que atuam junto ao concreto na resistência aos esforços de tração e o *concreto protendido*, segundo ANDRIOLO (1984, pg.428) é aquele no qual, a tensão de tração aplicada, antes do lançamento do concreto (pré-tensão) ou depois do concreto ter atingido resistência desejável (pós-tensão), à armadura inserida no concreto, origina esforços de compressão, anulando ou reduzindo aqueles de tração.

Durabilidade e Degradação

Segundo ANDRADE (2005, pg.754 e755), concreto durável é aquele que, quando submetido ao trabalho, durante vida útil, possui capacidade de resistir às intempéries, aos agentes agressores, aos processos de deterioração, mantendo sua qualidade, forma, utilidade, segurança e estabilidade. Cuidados e procedimentos específicos relativos à durabilidade devem ser tomados em todas as etapas de vida da estrutura, desde a etapa de levantamento de dados para elaboração do projeto, visando assegurar o bom desempenho da estrutura e prevenir as patologias. A durabilidade de uma estrutura está relacionada, principalmente, com:

- Critérios de desempenho e de vida útil estabelecidos;
- Projetos arquitetônico, estrutural e associados (detalhes construtivos, cobrimento da armadura, deformabilidade da estrutura, resistência à compressão, a impermeabilidade, etc.);
- A execução da obra (qualidade dos materiais, processos de execução, etc.);
- O meio ambiente circundante (micro-clima, entorno, grau de agressividade ambiental, etc.);

- O uso, os procedimentos de manutenção e o tempo.

Patologias podem ser evitadas através do bom uso e da manutenção preventiva da estrutura e dos subsistemas construtivos que interagem com ela - instalações hidro-sanitárias, impermeabilizações, juntas de dilatação, revestimentos, etc. Segundo ANDRADE (2005), na falta de cultura de manutenção preventiva, os problemas de durabilidade são percebidos pela deterioração aparente em fase de propagação, já passados anos de seu início, e envolvem custos altos de recuperação.

A velocidade requerida nos processos construtivos atuais tem resultado na utilização de concretos com altas resistências nas primeiras idades (predomínio do C₃S) que são mais susceptíveis à fissuração por retração térmica e/ou por secagem, o que leva à perda de permeabilidade do concreto e conseqüentemente à ocorrência de patologias. As patologias nas estruturas de concreto, decorrentes da penetração através de fissuras superficiais, microfissuras e poros, de água e íons deletérios que causam a corrosão do aço e reações expansivas reduzem sua durabilidade, aceleram sua deterioração. A proteção das armaduras, eletroquímica ou através de aplicação de tinta a base de resina epóxi ou galvanizadas, é um recurso para prevenir a corrosão do aço. A substituição do aço por aço inoxidável e a utilização de armaduras poliméricas são tentativas de resolver esse problema.

A Norma Brasileira ABNT NBR 6118:2003, estabelece diretrizes para a durabilidade das estruturas de concreto, onde classifica a agressividade ambiental, e estabelece critérios de projeto que visam à durabilidade, onde dispõe sobre detalhes e formas arquitetônicas que contribuem para a durabilidade, sobre a qualidade do concreto de cobrimento, estabelece correspondência entre classe de agressividade e qualidade do concreto e correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal. A NBR6118: 2003, na página 15, relaciona os mecanismos de envelhecimento e deterioração da estrutura de concreto:

“Mecanismos preponderantes de deterioração relativos ao concreto

- a) lixiviação: por ação de águas puras, carbônicas agressivas ou ácidas que dissolvem e carreiam os compostos hidratados da pasta de cimento;
- b) expansão por ação de águas e solos que contenham ou estejam contaminados com sulfatos, dando origem a reações expansivas e deletérias com a pasta de cimento hidratado;
- c) expansão por ação das reações entre os álcalis do cimento e certos agregados reativos;
- d) reações deletérias superficiais de certos agregados decorrentes de transformações de produtos ferruginosos presentes na sua constituição mineralógica.

Mecanismos preponderantes de deterioração relativos à armadura

- a) despassivação por carbonatação, ou seja, por ação do gás carbônico da atmosfera;
- b) despassivação por elevado teor de íon cloro (cloreto).

Mecanismo de deterioração da estrutura propriamente dita.

“São todos aqueles relacionados às ações mecânicas, movimentações de origem térmica, impactos, ações cíclicas, retração, fluência e relaxação.”

Todos esses mecanismos afetam o concreto aparente. São defeitos superficiais mais comuns no concreto aparente:

- Desuniformidade na cor da superfície/manchas (eflorescências, manchas de ferrugem, etc.) devido à: variação no fator água/cimento, na cor dos materiais, dos pigmentos, dos agregados, do cimento e da areia; distribuição heterogênea de pigmentos, aditivos; lixiviação da cal; a natureza das fôrmas; impregnação de desmoldantes; desforma em diferentes tempos; presença de impurezas na mistura; concentração ou movimentação inadequada da água (exudação, etc.); contato com o meio ambiente (sujidades, microorganismos); mau uso (pichação);
- Irregularidades na superfície - desnivelamento, degraus de descontinuidade;
- Irregularidades nas juntas - na largura e alinhamento;
- Falhas e erros em relevos padronizados;
- Bolhas, bicheiras, fuga de pasta, devido a defeitos de concretagem;
- Fissuras decorrentes de variações térmicas, origem mecânica, patológica (reação à álcali, ataques sulfatos, corrosão das armaduras, etc);

- Desgastes causados por abrasão;
- Trincas, lascas e outros danos causados por choques ou patologias;

A origem da deterioração pode estar:

- Nas fases de concepção e execução, devido às falhas:
 - Nos projetos - especificação de materiais, dosagens do concreto, detalhes executivos, etc.;
 - Na gestão da obra - compra, recebimento, aceite, controle, transporte, estocagem, de materiais; controle de qualidade dos processos, etc.;
 - Na execução do concreto e da estrutura - inadequação na mistura, nos tempos dos processos, das fôrmas, no lançamento, no adensamento, da cura, etc.
- Ao longo da vida útil, devido:
 - Ao uso – abrasão, desgaste da superfície, etc.;
 - À interação com o meio-ambiente - sujeiras, corrosão das armaduras, etc.;
 - A acidentes - choques, incêndios, pichação.

Detalhes construtivos devem ser pensados, projetados e executados com a finalidade de promover a durabilidade das construções. Com relação à fase de execução, devem promover a construtibilidade, a qualidade, a prevenção de defeitos, já com relação à fase de vida útil, devem prevenir infiltrações e depósito de sujidades nas superfícies, possibilitar os movimentos decorrentes de variações térmicas, facilitar manutenção, etc. São pontos críticos, dentre outros, em uma construção que, de acordo com SILVA (1995, pg.102), devem ser tratados:

- A distribuição das barras da armadura - por influir na facilidade de lançamento e adensamento do concreto e , portanto preenchimento da forma, sem deixar falhas internas ou na superfície;

- Quinas e cantos - quando arredondados são menos susceptíveis à concentração de agentes deletérios tanto na vertical quanto em superfícies horizontais – lajes e relevos devem possuir inclinação adequada para facilitar a lavagem das partículas poluentes;
- Bordas de vigas – devem ser protegidas por pingadeiras e chapins;
- Juntas – por constituir via de penetração de água, devem ser estanques.

Na lição de ANDRADE T. (2005, pg.765), a resistência à abrasão, que vai depender da dosagem e dos processos executivos, está relacionada à qualidade da camada superficial. Quanto maior a dureza e menor a porosidade, menor permeabilidade da pasta, maior será a resistência à abrasão. Características que podem ser obtidas com redução do fator água/cimento que reduz o teor de vazios e aumenta a resistência à compressão. Também influem na resistência ao desgaste à abrasão, a aderência entre pasta e agregado, a dureza dos agregados, as técnicas empregadas no acabamento do concreto. O emprego de máquinas especiais sobre a camada superficial na fase de execução de pisos, por exemplo, promove maior compactação, resultando em qualidade no acabamento e aumento de resistência à abrasão. Cuidados com a dosagem, lançamento, vibração e acabamento para evitar a segregação e exsudação devem ser tomados. Os tempos dos processos devem ser respeitados e as condições ambientais observadas e adotadas providências para evitar qualquer dano ao concreto decorrentes destas condições. Finalmente, a cura adequada garante qualidade das propriedades da pasta na superfície do concreto.

Fatores ambientais provocam degradação da estrutura de concreto e, conseqüentemente, influem em sua durabilidade. O Brasil é um país que possui extensa área territorial, com temperaturas médias anuais elevadas, alta incidência solar, onde predominam os climas tropical e equatorial. Por ser extenso, apresenta diversos comportamentos climáticos, típicos de cada região. Somado a este fator natural, as condições ambientais (temperatura, radiação solar, umidade, vento, poluição, qualidade da água, etc.) também variam em função da modificação do meio pelo homem.

Ensina LIMA (2005, pg.713) que para a elaboração de projeto de estrutura de concreto aparente é indispensável conhecer o meio ambiente onde será inserida, seu micro clima, as condições favoráveis e os agentes agressivos aos quais ficará submetida, se se quer alcançar o maior valor para sua vida útil. Quanto mais específicos forem os dados obtidos desse estudo, melhores os resultados obtidos. Também é importante a análise do efeito combinado dos agentes agressivos, causadores e/ou aceleradores de degradação. O aumento da temperatura, por exemplo, dobra a velocidade das reações, climas tropicais são mais agressivos que aqueles do Norte. No concreto, que possui baixa condutividade térmica, variações térmicas internas e externas, como vimos, podem causar fissuração. A umidade do ambiente influi na umidade dos poros do concreto, que influi na velocidade de corrosão das armaduras. Já o efeito da radiação solar depende de propriedades do material como: calor específico, massa específica aparente, condutividade térmica, absorvância e emitância da superfície do concreto. O concreto aparente, assim como os sistemas de proteção aplicados, é passível de degradação pela incidência desta radiação.

Partículas sólidas depositadas nas superfícies do concreto aparente, quando combinadas com chuvas, podem causar a acidificação destas superfícies, a destruição da matriz e também propiciar cultura de fungos e vegetação.

Chuvas ácidas, próprias de meios poluídos, carregadas com compostos agressivos, como o ácido sulfúrico, provocam dissolução da matriz cimentícia. De acordo com ANDRADE T. (2005, pg.765), em face do caráter básico da pasta de cimento, os concretos de cimento Portland não possuem boa resistência à ação dos ácidos. Esses reagem com hidróxido de cálcio da pasta de cimento, produzindo água e sais de cálcio, que se solúveis, podem ser lixiviados, aumentando a permeabilidade e porosidade da pasta. No ataque ocorre a redução do pH, a decomposição química e a aceleração da despassivação da armadura. Para prevenir o ataque de ácidos ao concreto, podem-se utilizar tratamentos que protejam a superfície, concretos com baixa relação água/cimento (a permeabilidade é inversamente proporcional à resistência aos ácidos) e cura adequada. Além disso, o uso de adições minerais pode ser positivo porque elas

fixam o Ca(OH)_2 (hidróxido de cálcio) - resultante da hidratação dos compostos C_2S e C_3S do cimento – que é o produto mais vulnerável da pasta de cimento.

O dióxido de carbono (CO_2), responsável pelo processo de carbonatação, que causa corrosão das armaduras, é um exemplo de agente agressivo presente na atmosfera. A velocidade do processo de carbonatação depende das condições ambientais locais (umidade relativa, temperatura, concentração de CO_2) e das características do concreto (porosidade, grau de hidratação do cimento, etc.).

Outra patologia que altera o aspecto do concreto aparente e utiliza o CO_2 é a eflorescência, que ocorre com maior frequência em concretos permeáveis e mal compactados, na forma de manchas brancas na superfície do concreto - o Ca(OH)_2 do cimento é lixiviado até a superfície do concreto, onde reage com o dióxido de carbono presente no meio ambiente para formar o carbonato de cálcio (CaCO_3).

O meio urbano, classificado como ambiente de agressividade moderada segundo a Norma NBR6118- ABNT, 2004, pg.16, tem suas características ambientais em constante mutação, à medida que vai sendo transformado, ocupado por usos diversos, tendo as densidades populacional e de construções alteradas. Preleciona LIMA (2005, pg.713), que a incidência de vento em uma construção depende, além dos fatores climáticos naturais da região onde está inserida, de sua conformação volumétrica, sua altura e do entorno. A modificação deste último, através, por exemplo, da construção de um edifício que constitua barreira física à passagem do vento, pode alterar a incidência de ventos na construção existente e conseqüentemente, a incidência de chuvas e a sedimentação de partículas no local. O surgimento de novos corredores de vento e áreas de sombreamento altera a temperatura e demais características do microclima local.

2.3.2 Características do concreto aparente

A dispensa de revestimento sobre a superfície do concreto - concreto aparente - só é possível mediante o estabelecimento de critérios técnicos e de qualidade específicos relativos à proteção da estrutura e a solução estética, o que reflete em melhores resultados quanto aos desempenhos técnicos e de durabilidade das estruturas. Esses critérios geram procedimentos especiais – seleção de materiais, de fôrmas, proteção das armaduras e da superfície, cura, desfôrma, limpeza final, etc. - relativos aos materiais, à execução e à gestão da produção, conforme veremos nesse estudo.

A solução “concreto aparente” pode ser adotada para qualquer tipo de concreto, convencional ou especial, desde que na conformidade de suas características. Aliar o concreto aparente a um tipo de concreto como, por exemplo, o CAD, significa unir duas excelências, já que este é um concreto de alto desempenho, caracterizado por possuir maior resistência à ação de agentes agressores, alta resistência e durabilidade, excelente trabalhabilidade além de proporcionar velocidade de construção, redução das seções e volumes das estruturas, maior capacidade de carga por unidade de custos, redução de quantitativo de armação e concreto.

O concreto para uso aparente, segundo HELENE (2005, pg. 465), deve ter resistência à compressão superior à 40MPa, fator água/cimento inferior a 0,45 e cimentos com baixo teor de silicato tri-cálcico, para reduzir ocorrência de eflorescências. Também deve ser executado com traço mais argamassado, para efetuar adequado acabamento superficial e sua desfôrma ser efetuada em mesmo tempo, para obter coloração homogênea. Veremos que, além do tempo na fôrma, também influem na cor/tonalidade final do concreto aparente, dentre outros, o cimento, o tipo e o teor de adições (escória, pozolanas, metacaulin, sílica ativa, etc.) e os agregados miúdos e graúdos. Definido o padrão a ser utilizado na obra é importante que as características dos materiais do concreto aparente sejam mantidas até sua finalização para que se obtenha resultado homogêneo.

A uniformidade do aspecto final da estrutura de concreto aparente depende da qualidade dos processos que envolvem sua execução e da homogeneidade do acabamento e dos componentes do concreto (cor, formato, granulometria). As propriedades desse concreto estão relacionadas com a dosagem e qualidade dos seus componentes, razão da necessidade de maior controle da origem dos materiais - cimento, água, agregados, adições, aditivos, pigmentos - cuja escolha é feita a partir do grau de agressividade do meio a que ficará sujeito, da estética desejada, da disponibilidade no mercado. No entanto, sendo o concreto aparente um material que deve atender, além dos requisitos estéticos, os relativos à trabalhabilidade, à resistência, à execução, à durabilidade, etc., a especificação de materiais deve ser feita de forma a atender a todos esses parâmetros, sem prejuízo de nenhum deles.

Cimento

O cimento Portland é um aglomerante hidráulico, que tem como principais compostos os silicatos (tricálcico, Dicálcico), aluminato tricálcico, ferro aluminato tetracálcico, podendo conter ainda óxido de cálcio livre, óxidos de potássio e sódio (álcalis do cimento), de manganês, magnésio, fosfatos, fluoretos e sulfatos. É classificado de acordo com a resistência à compressão aos 28 dias, dada em MPa e, de acordo com a cor, cinza ou branca. Além dos requisitos, já citados, para a escolha dos materiais, na especificação do cimento são levadas em conta as características dos agregados (reatividade).

O cimento é um componente que influi na resistência mecânica, durabilidade e, conforme já dito, na cor do concreto aparente. O silicato tricálcico desprende elevada quantidade de calor de hidratação e proporciona maiores resistências nas primeiras idades, já o dicálcico desprende o calor lentamente e contribui para resistência a 28 dias em diante. Preleciona MEHTA (2008, pg. 247), que o ferro, presente no clínquer do cimento Portland, dá a cor cinza característica do concreto comum.

A tonalidade do cimento pode variar de acordo com o tipo e com o fabricante, os componentes do cimento influem na cor dos concretos. De acordo com SILVA (1995, pg.24), a dosagem e o tipo de adição influem na cor do cimento – cimentos elaborados com argilas calcinadas podem resultar em concretos avermelhados, por exemplo. Concretos com escória de alto forno, dependendo de sua origem e teor, podem apresentar tonalidade cinza ou azul esverdeada, nas partes que não ficam em contato com o meio.

A obtenção do cimento branco é função da redução do óxido de ferro na mistura e do processo de fabricação. A cor/tonalidade, medida pelo índice colorimétrico, quanto mais próximo do valor 100, mais clara. Como o cimento branco não tem o ferro aluminato tetracálcico ou, o tem em valores inexpressivos, ele tem mais aluminato tricálcico, e, de conseguinte, o concreto branco é mais reativo à presença de sulfatos. O aluminato tricálcico não é indicado para ambientes propícios ao ataque de sulfatos, ao reagir com esses formam-se produtos expansivos, que podem desagregar o concreto.

No processo de hidratação, o cimento é misturado à água formando a pasta, que pode ter elevadas resistência e aderência (aos agregados e à armação), o que vai depender do processo de mistura e do fator água/cimento, que, além de influir na trabalhabilidade do concreto, também influi na sua cor, quanto mais baixo o valor desse fator, mais escuro será.

Agregados

Os agregados, até pelo volume que ocupam, equivalente à aproximadamente 70% do volume do concreto, exercem grande influência nas propriedades mecânicas, de durabilidade e físicas da estrutura de concreto aparente, principalmente quando expostos. São procedentes de rochas estáveis e podem ser:

- Agregados minerais naturais (90% dos agregados), de origem de rochas naturais - quartzo, granito, mármore, calcário e seixo;

- Agregados artificiais, produzidos a partir de:
 - Processos térmicos, como a argila expandida;
 - Rejeitos industriais – escória de alto forno, cinzas volantes.

Hoje existem também os agregados provenientes da reciclagem das construções, que podem ser utilizados no concreto aparente desde que em conformidade dos requisitos de qualidade.

TABELA 2.3: Classificação dos agregados quanto ao tamanho e a massa unitária.

Classificação	Terminologia	Valores
Tamanho das partículas	Agregado miúdo	< 4,75mm Entre 75µm (peneira nº200) e 4,75mm.
	Agregado graúdo	> 4,75mm (retidas na peneira nº4) Entre 4,75 mm e 50 mm. No concreto massa até 150 mm
Massa Unitária	normal	De 1520 a 1680kg/m ³
	leve	<1120kg/m ³
	pesado	>2080kg/m ³

Fonte: (MEHTA e MONTEIRO, 2008 pg.260)

Os agregados são caracterizados por:

- Propriedades relacionadas à sua origem, à qualidade da rocha;
- Método de produção, características de fabricação.

A especificação do agregado, da granulometria, da dosagem, dos tratamentos de superfícies, etc., tudo relativo ao agregado vai influir no resultado final, como por exemplo:

- A execução do concreto é influenciada pela forma, grau de arredondamento, textura superficial, absorção d'água do agregado, porosidade, granulometria;
- As características mecânicas do concreto estarão relacionadas às resistências mecânicas, à fragmentação, ao polimento, à abrasão do agregado, bem como à sua massa unitária, forma, textura, natureza

mineralógica, índice de limpeza, impurezas, reatividade álcali-agregado, total de enxofre e sulfato, cloretos, etc.;

- As características estéticas do concreto serão influenciadas pela cor, natureza mineralógica, origem, porcentagem de finos e de agregado graúdo, matérias orgânicas, impurezas, limpeza.

Portanto, além dos requisitos, já citados, para a escolha dos materiais, para especificar o agregado é importante conhecer suas características, principalmente as intrínsecas, seus constituintes mineralógicos, o teor de compostos ferrosos (oxidação e hidratação desses compostos provocam manchas na superfície do concreto), a presença de substâncias nocivas, a reatividade álcali-agregado (teor de sílica < 4% - agregado são não-reativos/ teor de sílica > 4% - agregados potencialmente reativos). Além de análise mineralógica e petrográfica dos agregados podem ser feitos testes que avaliam sua compatibilidade com o concreto, análise de seu desempenho em concretos já feitos na região. É importante também, de acordo com SILVA (1995) checar o grau de limpeza do agregado, pó e argila misturados ao agregado podem influir na dosagem do concreto e podem, também, junto a materiais carbonosos, e a pirita (mancha com aspecto de ferrugem) manchar a superfície do concreto.

Recordando que a homogeneidade do concreto aparente, importante requisito de qualidade, é função daquela dos agregados, ressaltamos a importância da especificação do padrão a ser utilizado, bem como do acompanhamento dos procedimentos de recebimento, estocagem e transporte desse material.

A dureza do agregado deve atender aos requisitos estruturais e de durabilidade levando-se em conta as condições ambientais onde estará inserido. O granito, que tem 70% de feldspato e 30% de quartzo, é nº6 na escala Mohs, é natural de rocha com granulação média e grossa, forma excelentes agregados, resistentes e pouco porosos.

Quanto à especificação do tamanho dos agregados expostos em concreto aparente, cujo diâmetro recomendado pode variar entre 6 mm a 75 mm, pode-se

usar como critério o efeito desejado e a distância que esse efeito deve ser percebido.

TABELA 2.4: Escala sugerida de visualização de acordo com o tamanho do agregado.

Tamanho agregado	Distância efeito visível
6-13mm	6-9m
13-25mm	9-23m
25-50mm	23-38m
50-75mm	38-53m

Fonte: (BENINI, 2005 pg.1426)

Em relação à forma, os agregados podem ser cúbicos (dimensões similares), alongados (uma dimensão muito maior do que as demais) ou lamelares (variação grande nas três dimensões). Ainda podem ser classificados quanto ao grau de arredondamento e quanto à textura. A forma do agregado influi:

- No padrão da superfície - agregados irregulares evidenciam mais a matriz de cimento, os cúbicos ou redondos formam área de cobertura mais densa, alongados e planos devem ser evitados;
- Na textura;
- Na cor.

De acordo com SILVA (1995), nos concretos frescos os agregados lamelares dificultam a mistura, requerem maior quantidade de argamassa, já os de forma cúbica, arredondados, facilitam a mistura ajudam na trabalhabilidade, requerendo menos água de amassamento (ver trabalhabilidade, pg.18). Excesso de areia e areias grossas facilitam a formação de bolhas. Ao longo do tempo os agregados arredondados mantêm-se mais limpos, já os angulares ou ásperos, acumulam sujeira e contaminam a matriz. Quanto menor a área da matriz exposta entre agregados, melhor a conservação estética. Em meio sujeito à poluição, matriz mais escura que o agregado apresenta melhor desempenho relativo à conservação da estética.

Preleciona BENINI (2005, pg. 1426) que agregados com superfícies ásperas proporcionam melhor aderência à pasta comparativamente ao liso ou de superfície vitrificada. Essa propriedade de aderência tem mais importância quando utilizamos agregados miúdos, menores de 13mm (nesse caso, parte dos agregados pode estar mergulhada apenas 50% na matriz cimentícia).

A influência que a cor do agregado vai exercer no concreto aparente depende, dentre outros, do tamanho do agregado, da quantidade, do tipo de acabamento. Os finos do concreto, cimento e areia, exercem grande influência na cor final do concreto. As características (cor, propriedades mecânicas, texturas e formatos, limpeza, tamanho) da areia variam conforme a sua natureza mineralógica (mármore, quartzo, etc.) e origem (rio, jazida, etc.). Os graúdos, influem pouco na cor final do concreto, se não são expostos, como por exemplo, nos concretos brutos de desfôrma, já quando expostos ou polidos, a cor, o tamanho, a forma, serão determinantes do resultado estético final, como veremos adiante aos tratarmos dos aspectos do concreto aparente e do concreto colorido.

Água

A água utilizada na mistura do concreto deve ser limpa e não pode conter substâncias nocivas ou que interfiram no processo de hidratação, de forma a não influir nas reações e não alterar suas propriedades físicas e mecânicas. A água utilizada na cura também deve ser isenta de óleos, ácidos, orgânicos, etc. para não manchar a superfície. O fator água cimento, como já vimos, pode alterar a trabalhabilidade e a tonalidade do concreto e o excesso de água reduz sua resistência mecânica e durabilidade (ver pg. 18).

Adições

Adições minerais são materiais finos incorporados à mistura do concreto em volume igual ou superior a 5% da massa do cimento. Melhoram ou conferem propriedades especiais ao concreto. Diminuem a porosidade, aumentam a

compacidade, melhoram o aspecto do concreto aparente, sua resistência e durabilidade. Atuam na microestrutura do concreto, podem ter ação pozolânica ou hidráulica, preenchem vazios causados por falta de finos. Cinzas volantes e sílica diminuem a ocorrência de eflorescência e riscos de reação a álcali. Adições calcárias melhoram o aspecto do concreto branco. No entanto, podem influir na cor final, devem ser utilizadas com cuidados. Exemplificando, tanto a cinza volante quanto a sílica são muito utilizadas no cimento cinza, já nos brancos e coloridos, quando não indicados, são usadas com restrições, como veremos no estudo destes concretos.

Aditivos

Os aditivos, que representam, no máximo, 5% da massa do cimento, são produtos adicionados ao concreto na mistura para melhorar certas propriedades do concreto, fresco e/ou endurecido, relacionadas à execução, resistências mecânicas e durabilidade (trabalhabilidade, regulação do tempo de pega, no fator água/cimento, etc.). Exercem funções específicas, que estão relacionadas a seus nomes: retardadores e aceleradores de pega, retentores d'água, incorporadores de ar, plastificantes e superplastificantes, limitadores de retração, etc. Os aditivos podem influir na tonalidade do concreto, portanto, é importante se informar com o fabricante e efetuar amostra para verificar interferência. Ensina SILVA (1995, pg.43) que aditivo plastificante aplicado em mistura com areia grossa, minimiza as diferenças de tonalidade e reduz a exudação - o que pode ajudar se não for possível substituir o agregado - e fala (1995, pg. 47) da importância do concreto bem feito:

“O melhor impermeabilizante para um concreto é o próprio concreto, isto é, um concreto bem dosado, com baixa relação água/cimento, uso de superplastificante e boa compactação, se necessário”.

Os pigmentos, inseridos na mistura para dar cor ao concreto, podem ser considerados aditivos. Assunto que será tratado com mais detalhes no item sobre o concreto colorido.

Aspectos do concreto aparente

Como já dito, o concreto é um material versátil, apresentamos, na tabela 2.5, os principais recursos técnicos disponíveis relativos aos aspectos do concreto aparente. A escolha do concreto aparente deve ser feita levando-se em conta, dentre outros, o objetivo estético, o fator econômico, o entorno e seu microclima, requisitos de desempenho, de resistência e durabilidade, a viabilidade de manutenção, disponibilidade de materiais e mão-de-obra.

TABELA 2.5: Principais Recursos técnicos disponíveis relativos aos aspectos do concreto aparente.

Recurso	Tipo	Sistema	Característica/ aspecto dominante
Cor	Concreto cinza natural	Uso de cimento comum cinza	cor cinza natural (várias tonalidades)
	Concreto branco	Uso de cimento branco	cor branca (várias tonalidades)
	Concreto colorido	Por pigmentos	Colorido (várias cores e tonalidades)
		Por agregados expostos	Agregados expostos*
Textura	Agregado exposto*	tratamentos químicos e/ou mecânicos	Exposição leve/ áspera
			Exposição média/ rugosa
			Exposição profunda/ muito rugosa
		Montagem	Exposição pedras grandes
	Superfícies lisas, sem texturas*	Desfôrma	brutas
			lisas
	Polimento	polidas	
Impressões	Com relevos *	Fôrmas com relevos	textura
			desenhos
			modulos
	Fotografia*	tratamentos químicos e mecânicos	Imagem fotográfica/ agregado exposto.
			Fôrmas com relevos

O resultado estético final é dado pela utilização dos recursos supra citados que podem ainda ser combinados entre si, ampliando as opções de efeitos de acabamento:

- Tonalidades obtidas com o uso de cimento branco são diferentes daquelas com cimento cinza, tanto nos concretos coloridos por pigmentos, quanto naqueles por agregados expostos;

- Podem ser feitas combinações entre cores e texturas, combinação entre cores de pigmentos e cores de agregados;
- Pode-se utilizar mais de uma textura, como por exemplo, agregado exposto e polido;
- Podem ser combinadas impressões com cores;

Além disso, podem-se utilizar diferentes tamanhos, formatos e cores de agregados na mesma superfície, fachada ou construção o que aumenta a gama de opções estéticas desse material.

A qualidade do concreto aparente com agregado exposto, que pode ser cinza natural, branco ou colorido, está relacionada à:

- Seleção de agregados - critérios: cor, dureza, tamanho, forma, distribuição, resistência à abrasão, disponibilidade, custo;
- Granulometria – a contínua é a mais indicada, granulometria uniforme resulta em maiores volume de vazios, o que requer mais pasta;
- Matriz cimentícia;
- Questões técnicas associada ao nível de exposição especificado;
- Proporcionamento dos materiais;
- Cuidados com a cura.

Como visto, a superfície do concreto aparente pode ser lisa ou com textura. Existem vários tipos de tratamento superficial, que podem ser feitos nos estados fresco e endurecido do concreto e que podem ser combinados. Os tipos de texturas e o grau de exposição de agregado influem na tonalidade final da superfície de concreto exposta.

Os tratamentos aplicados em superfícies de concreto aparente, para expor os agregados podem ser feitos quimicamente, utilizando desativadores químicos, retardadores ou aplicando ácido diluído, ou mecanicamente (Tabela 2.7). Os graus de exposição dos agregados variam de acordo com a profundidade de remoção da pasta que, conforme recomenda BENINI (2005, pg1423), não deve

exceder 1/3 do diâmetro médio do agregado e metade do diâmetro do menor agregado, para garantir a aderência.

TABELA 2.6: Graus de Exposição de agregados

Exposição	Procedimento	Aspecto
leve	Remoção de fina superfície de pasta e areia, expondo apenas os cantos das partículas de agregados.	Uniforme Agregado pouco exposto.
média	Remoção de uma camada da matriz de forma que agregados expostos e argamassa ao redor possuam áreas similares.	Área de exposição do agregado igual a da matriz.
profunda	Remoção intensa, máximo de 1/3 do diâmetro médio do agregado graúdo.	predomínio perceptivo de agregados graúdos

Fonte: BENINI/ RIVERA

O jateamento sobre superfície de concreto deve ser uniforme, feito à mesma pressão. Também a aplicação de retardador, de ácidos, etc., deve ser homogênea para obter qualidade e evitar falhas indesejáveis (variação indesejada no grau de exposição, manchas, etc.).

O agregado pode ser misturado durante a produção do concreto formando massa monolítica, pode ser semeado sobre o concreto fresco já lançado, pode também, ser inserido com auxílio de forma com areia. Segundo RIVERA (2007), esse último processo é utilizado na fabricação de painéis com agregados grandes, com diâmetros maiores que 30mm – coloca-se camada de areia na forma, depois dispõe uma camada de pedras, aplica-se o concreto, após endurecido a areia é lavada com jatos de água.

As texturas nas superfícies de concreto podem, também, ser obtidas a partir do estado endurecido do concreto, após a cura, com a ajuda de ferramentas que retiram a camada superficial já consolidada.

TABELA 2.7: Principais processos de obtenção de textura no concreto aparente.

Modo	Processo	Procedimento
Uso de fôrmas	Acabamento liso	O acabamento da forma influi no acabamento do concreto. O material da forma pode influir na qualidade do acabamento, fôrmas metálicas podem produzir acabamento mais liso e com brilho. Podem ser utilizadas formas plásticas ou de madeira com resina poliuretânica.
	Cordas Inseridas	Cordas de sisal ou plásticas são fixadas nas fôrmas, formando linhas na superfície criando aspecto modulado.
	Fôrmas com relevos	Fôrmas de madeira bruta ou revestidas com placas contendo texturas e relevos (vinílicas, elastoméricas, etc.). Várias texturas, desenho e imagens.
Exposição de agregados	Jateamento de Água em Alta Pressão	Jateamento de água em alta pressão sobre superfície de concreto em estado fresco.
	Retardador de Pega	Aplicação de retardador de pega na superfície do concreto (aspersão sobre superfície ou na forma). Remoção da pasta com jatos de água.
	Lavagem com Ácido	Aspersão de solução de ácido clorídrico sobre o concreto endurecido e úmido que remove pasta e corrói a superfície do agregado. Posterior lavagem com água em alta pressão, e possível escovamento da superfície para retirar o ácido. Acabamento fino, indicados agregados mais resistentes (granitos e quartzos) .
	Jateamento de Ar e material abrasivo	Jateamento de ar e material abrasivo, como areia ou escória sobre superfície. Acabamento uniforme, fosco.
	Jateamento de Água e Areia	Jateamento de água e areia sobre superfície. Acabamento uniforme, cores foscas.
Uso de ferramentas	Escovado/estriado	Estado fresco - passar pente ou vassoura com fios de aço. Superfícies com aspecto rugoso e fraturado.
	Apicoamento	Superfície apicoada pela aplicação de ferramentas, manuais ou mecânicas. Supressão da camada superficial - superfície rugosa, agregados expostos.
	Polimento	Polimento da superfície por lixamento, através de abrasão progressiva. Superfície polida, brilhante.

Fonte: BENINI/ RIVERA

A superfície do concreto também pode ser trabalhada de forma artística (Foto 2.23), por inserções de relevos e por representação fotográfica (ver concreto fotografado).



Foto 2.23: Obra de arte Epopeia Paulista, estação da luz, 2004, São Paulo - 200 metros quadrados de placas de concreto, branco e colorido, moldadas.

Foto: Rogério Wolf. Fonte: http://vitrinerg.blogspot.com/2008_11_01_archive.html



Foto 2.24: exemplo de texturas a partir de fôrmas com relevos no padrão madeira, aplicado em fachada – nawkaw

.Fonte: <http://www.nawkaw.com/formliners/downloads/1126.pdf>



Foto 2.25: exemplo de texturas a partir de fôrmas com relevos combinada com concreto liso, aplicado em fachada - nawkaw

Fonte: <http://www.nawkaw.com/2010/abstract.asp>



Foto 2.26: exemplo de texturas a partir de Fôrmas com relevos – NAWKAW.

Fonte: <http://www.nawkaw.com/2010/abstract.asp>

As armaduras, conforme BETOCIB (2009, pg.27), além de atenderem aos requisitos estruturais específicos do concreto estrutural demandam cuidados especiais que garantam a qualidade do concreto aparente. Além de receberem aplicação de proteção para a prevenção de manchas causadas por oxidação do aço, devem estar limpas, não impregnadas de substâncias nocivas que possam manchar o concreto, não apresentarem sinais de oxidação, estarem posicionadas corretamente, alinhadas, respeitando a espessura de revestimento especificada em projeto (de acordo com o nível de agressividade do meio, com o acabamento – exposição de agregados, etc.) para assegurar, além de sua própria proteção, o total preenchimento da forma pelo concreto, a homogeneidade do acabamento da superfície exposta, a execução de tratamento de textura , quando previsto, sem prejuízo da camada de revestimento. Cuidados também devem ser tomados na escolha dos materiais que entrarão em contato com o concreto como, por exemplo: peças de fixação das fôrmas; acessórios para fixação, para espaçamento, para calço. Esses últimos devem ser, preferencialmente, em concreto com características físicas similares ao concreto que ficará exposto, não podem oferecer riscos de manchamento, de reação, podendo ser também de plástico. Cuidados no transporte, armazenamento, na montagem, na concretagem, na vibração, devem ser tomados para não ocorrer deformação.

O armazenamento dos materiais deve ser feito de forma a garantir a qualidade do concreto aparente – protegê-lo da umidade, das intempéries, do excesso de claridade, da sujeira, do contato e mistura com outros materiais.

As fôrmas utilizadas na execução de concreto aparente requerem atenção especial por influírem diretamente na qualidade final do produto, devendo ser uniformes, regulares, estanques. Para acabamentos exteriores as formas de plástico são as mais usadas. As metálicas, em aço ou alumínio, podem produzir acabamento mais liso e com brilho. Nas formas de madeira, as variações naturais na absorção do material criam variações de cor na superfície do concreto. Formas com revestimentos finos, que são boas para molde horizontal, enrugam quando na vertical. Existem formas descartáveis, como as de espuma

de poliuretano, e reaproveitáveis, como as elastoméricas, que podem ser usadas 100 vezes e que, embora firmes e resistentes ao uso, requerem alto investimento e são sensíveis à mudança de temperatura - podem deformar com temperatura acima de 60°C. As formas plásticas, disponíveis em vários padrões podem também ser feitas sob medida com desenhos originais

Na execução do concreto aparente a cura deve ser adequada, considerando que água parada ou corrente podem afetar a cor do concreto, filmes plásticos podem causar manchas, curas químicas podem descolorir.

Após executado o concreto aparente deve ser limpo com jatos de água. Pode receber tratamento superficial a partir de lavagem ácida para remover o filme de cimento impregnado, no entanto, cuidados devem ser tomados para que agregados não sejam descoloridos ou dissolvidos. Proteção superficial, de acordo com KAZMIERCZAK (2005), é medida preventiva que resguarda a aparência das superfícies e aumenta a durabilidade das estruturas, pode ser feita através de aplicação de vernizes acrílicos, epóxi-poliuretano, quando se quer superfícies brilhantes e, silicones hidrofugantes (ex. Silanos, Siloxanos) sobre o substrato de concreto. Esse tipo de proteção é especificada conforme as características específicas do meio ambiente, do concreto e os requisitos de vida útil, lembrando que a durabilidade do concreto é superior à dos sistemas de proteção superficial disponíveis no mercado. A aplicação de *primers* que mantêm as aparências visuais originais do concreto sobre o substrato objetiva a padronização de suas condições contribuindo para a qualidade final. Também pode ser aplicado verniz antipichação, transparente e brilhante, à base de resina polimérica, previne a fixação de tinta spray na superfície do concreto, que pode ser removida do substrato. A utilização inadequada de produto para proteção pode resultar em manchas e alteração da aparência original do concreto.

O concreto aparente pode ser feito pelo método convencional ou pré-fabricado. Esse último, com vantagens, sobre o primeiro, devido aos princípios da industrialização aplicados: modernização da construção; redução de trabalho no canteiro de obra, de mão-de-obra; racionalização do processo construtivo,

minimizando desperdícios e retrabalhos; limpeza na obra; velocidade de execução na obra, otimizando o cronograma; aumento da qualidade do produto final, homogeneidade estética, precisão dimensional; facilidade de montagem, simplicidade de manutenção. Além disso, propicia fabricação de peças como os painéis estruturais ou de vedação de fachadas que substituem a alvenaria convencional. Por todas essas vantagens é um sistema construtivo compatível com os requisitos de qualidade do concreto aparente.

2.4 Tipos

2.4.1 Concreto Cinza

O concreto cinza nada mais é que o concreto comum, feito com cimento cinza, cuja cor, conforme visto, é dada pela presença de ferro no cimento Portland, já a tonalidade, pode variar de acordo com o teor dessa substância, com o tipo e fabricante do cimento, com o fator água/cimento, com as adições, etc. A esse concreto podem ser aplicados os acabamentos e cuidados descritos no item anterior.

Pioneiro, o concreto aparente cinza, dentre os demais da espécie, é o mais simples dos aparentes, por já conter ferro na formulação do cimento Portland, o que dispensa o uso de método extra ou a adição de qualquer outra substância, exceto quando se pretende, intencionalmente, obter efeitos outros. É também o mais utilizado ao longo da história, na contemporaneidade, e o mais acessível, capaz de atender a todo e qualquer tipo de demanda.



Foto 2.27: Edifício TOD's Omotesando , concreto aparente, Toyo Ito & Arquitetos Associados, 2004, Shibuya-ku, Tokyo, Japão Foto: andreayohaku.

Fonte: <http://mmedia.kataweb.it/foto-utente/793735/edificio-tod-s-omotesando-tokyo>



Foto 2.28: Casa Shell - em concreto aparente, em Kitasaku, Nagano, Japão, 2008, arquitetura Kotaro Ide/ARTechnicarchitects, engenheiro estrutural Naomi Kitayama / NAO Foto Nacasa & Partners Inc.

Fonte: http://modern-arki.blogspot.com/2009_01_01_archive.html

2.4.2 Concreto Branco

O concreto branco, feito com cimento Portland branco, amplia as possibilidades de criação e confere valor estético ao concreto. Pode ser usado branco ou como

base para a produção de concreto colorido. Requer cuidados específicos na seleção de materiais, tais como:

- Os cimentos devem possuir índices de refletância de, no mínimo 85 e de brancura superior a 78%.
- As cores/tonalidades de todos os materiais componentes devem ser observadas: aditivos, adições, agregados, etc.

A produção do cimento branco requer também cuidados especiais como o uso de combustíveis a base de gás e óleo e, na moagem, uso de bolas constituídas de materiais específicos, tudo isso para evitar alterações na cor. Comparados com os convencionais, os cimentos brancos são mais finos e possuem maior teor de C_3A (ver pg.31), logo, concretos brancos apresentam alto calor de hidratação nas primeiras idades e tempo reduzido de início de pega. Aditivos controladores de hidratação e superplastificantes, que reduzem o volume da água de amassamento, são empregados no concreto branco, para prevenir falhas de concretagem. Também são empregados os modificadores de viscosidade em concretos auto-adensáveis brancos, para obter redução do consumo de cimento. Importante levar em conta que a cor dos aditivos pode influir na cor do concreto branco.

Adições minerais melhoram a resistência e durabilidade dos concretos, no entanto, como visto, influem na cor, logo, no concreto branco, devem ser utilizadas com cuidados – a cinza volante não é indicada, já a sílica ativa é recomendada, porém em quantidade igual ou inferior a 5%, acima da qual pode afetar a cor do concreto. A escolha de agregados também requer cuidados, os de origem de rochas calcárias são indicados para o concreto branco.

Estudiosos constataam que concretos brancos podem apresentar resistência mecânica igual ou superior àquela dos concretos convencionais e que possuem alta compactidade, baixa permeabilidade, isso devido à reatividade do calcário e do cimento, a sílica ativa, a alto teor de finos, a finura e volume do cimento, o

reduzido fator água/aglomerante, o que dificulta, como vimos, o desenvolvimento de patologias e resulta em melhor durabilidade e eficiência.

Alguns exemplos de procedimentos específicos na produção do concreto branco aparente:

- Requer mão-de-obra especializada ao longo de todo o processo de produção, como por exemplo, na montagem das formas, para evitar vazamentos da matriz que causem defeitos na superfície;
- Aplicação de sistema de proteção contra corrosão nas armaduras, que pode comprometer a estrutura inclusive no valor estético;
- Recomenda a utilização de concreto auto-adensável para obter maior homogeneidade, melhor acabamento e prevenir defeitos (bolhas de ar, falhas) que podem causar patologias, além de reduzir prazos de execução da estrutura;
- Requer concreto muito coeso e cuidados nos processos de lançamento e vibração, para evitar falta de homogeneidade cromática, formação de bolhas de ar no concreto e manchas claras (a perda de umidade clareia a coloração) devido à incorporação de restos de argamassa aderidos à forma;
- Reaproveitamento limitado das formas, formas especiais, de qualidade, estanques. Desmoldantes que não altere a aparência do concreto (a base de cera, fórmica). Desforma nas primeiras idades para evitar manchas do contato das formas, deixando perfis de proteção nas arestas. Cobrir a superfície após desforma, para evitar manchas, com material que permita a perda de umidade e não manche.
- Cura adequada para evitar retração. A hidráulica é a mais indicada, já que não se conhece ainda efeitos da cura química sobre o concreto branco ao longo do tempo;
- Aplicação de sistema de proteção da superfície a base de silanos, siloxano ou silicatos e, produtos antipichação que não alterem a aparência do concreto;
- Requer caminhão betoneira específico, etc.

O concreto aparente branco sofre clareamento por perda de umidade nas primeiras idades. Ao longo do tempo, sistema de proteção de superfície e a alta compactidade do concreto minimizam a acumulação de partículas de sujeira.

Prelecionam KIRCHHEIM, PASSUELO, DAL MOLIN, SILVA FILHO (2005, pg, 1460), que a análise econômica da utilização do concreto branco em um empreendimento deve incluir todos os dados, ao longo da vida útil do produto, que influem no seu custo/benefício. Sendo assim, além dos valores de resistências e de durabilidade, devem ser levados em conta valores ligados ao impacto ambiental e à estética. Fazendo breve análise comparativa entre o concreto branco e o cinza natural no que se refere a esses valores, referidos autores constataram que os preços dos materiais utilizados para o concreto branco são superiores aos utilizados para os cinza naturais (cimento branco, agregados selecionados, etc.). Também o transporte, armazenamento e procedimentos ao longo da execução e os de acabamento visando à qualidade visual final do concreto branco resultam em custos extras (mão-de-obra especial, qualidade e quantidade das formas, controle de qualidade, cuidados especiais na execução, na cura, no acabamento, etc.). Com relação à quantidade de material, os dois tipos de concreto apresentam consumos similares. No entanto, os brancos, além de agregarem valor estético ao empreendimento, em decorrência do controle diferenciado de materiais e procedimentos na fabricação e de sua composição (aditivos e adições), são menos permeáveis, mostram melhores qualidade e durabilidade. Também, o concreto branco possui alto grau de refletância, reduzindo a transmissão de calor para o interior do ambiente, a condutividade térmica, o que acarreta redução de consumo energético utilizado para climatização.

2.4.3 Concreto Colorido

O concreto colorido agrega valor estético à construção. No Brasil este tipo de concreto é utilizado com mais frequência em elementos decorativos, revestimentos, etc., sendo pouco utilizado em concreto estrutural (Foto 2.16).

Pode ser feito com cimento branco ou cinza. Para obter concreto com cor uniforme e durável na execução devem ser observadas, dentre outros, a dosagem, a adequada seleção de matérias-primas, o armazenamento do pigmento, a produção, o adensamento, a cura. De acordo com BENINI (2005, pg.1414), a cor dos concretos coloridos pode ser obtida através de adição de:

- Pigmentos
 - Pigmentos sintetizados pela indústria química (Normas ASTM C 979);
 - Óxidos metálicos (ferro, cromo, titânio, cobalto, manganês).

- Agregados:
 - Miúdos;
 - Graúdos.

Pigmentos são uma alternativa econômica e devem ser especificados observando características de durabilidade, estabilidade e poder de pigmentação ao longo do tempo, sendo requisitos técnicos a resistência à alcalinidade do cimento, à exposição aos raios solares, às intempéries. A adição do pigmento na mistura pode ser feita no canteiro de obra ou a estrutura pode ser pré-fabricada na cor especificada. O pigmento, dependendo da quantidade, pode ser classificado como agregado fino (*filler*).

Na produção do concreto colorido, segundo NAKAMURA (2003) a mistura deve ser uniforme, a dosagem deve ser cuidadosamente especificada e executada para obter resultado homogêneo, sem alterar as propriedades do concreto. O adensamento deve ser feito de forma a obter concreto compacto, sem falhas,

para alcançar qualidade estética e prevenir eflorescência. Pode ser utilizado aditivo inibidor de eflorescência.

Cimento

A cor natural do cimento – os diferentes tons de cinza – influem na tonalidade do concreto colorido, sendo assim, é importante utilizar o mesmo produto, de mesmo lote/fabricação para compor uma fachada, por exemplo, para garantir a qualidade estética final. O cimento cinza produz cores mais escuras que aquelas produzidas com o cimento branco que formam tons pastéis e vivos. O pigmento adicionado ao concreto colore apenas a pasta de cimento.

Agregados

Para o concreto colorido sem agregado exposto, mesmo não sendo o agregado o responsável pela cor predominante, deve-se utilizar agregado miúdo e graúdo em tonalidade mais próxima possível do pigmento a ser utilizado e/ou com o mínimo possível de variação de tonalidade, isso porque, além da a cor da areia influir no tom final do concreto, com o tempo, pode ocorrer exposição.

No concreto colorido com agregados expostos, a especificação e seleção dos agregados é requisito de qualidade estética do produto final. A cor dos agregados naturais varia com a classificação geológica e entre rochas de mesmo tipo:

TABELA 2.8: Cores dos agregados.

Natureza do agregado	Cor
Quartzo	Branco (vários tons, do translúcido ao leitoso), transparente, amarelo, verde, cinza, rosa.
Granito	Rosa, vermelho, cinza, azul, preto e branco.
Basalto	Tons de cinza, de verde e preto.
Mármore	Verde, amarelo, rosa, cinza, preto e branco.
Calcário	Branco e cinza
Seixos	Marrons, avermelhados, ocres e tons de terra.

Fonte: BENINI (2005)

O quartzo translúcido é utilizado para complementar o efeito da cor do concreto colorido e também, junto com agregados coloridos para enfatizar a cor da matriz.

Agregados cerâmicos, classificados como materiais vítreos possuem variedade de cores e brilhos. As argilas expandidas são encontradas em tons avermelhados, marrom, cinza e preto. É importante analisar o agregado quanto ao manchamento por liberação de compostos de ferro (item 2.3.2).

São fatores que determinam a cor da superfície exposta a seleção e proporção dos materiais e o tratamento para acabamento da face exposta. Mesmo quando a cor do agregado predomina na superfície visível, a cor do cimento influi na tonalidade da massa. Enquanto o cimento cinza é compatível com todas as cores de agregado, o cimento branco, natural ou pigmentado amplia as possibilidades estéticas devido à variedade de cores.

Pigmentos

Os pigmentos inorgânicos de óxido de ferro são mais duráveis e mais usados, os orgânicos tingem menos e são menos duráveis, podendo inclusive, comprometer a resistência do concreto se adicionados em quantidade inadequada e resultar em patologias pela presença de impurezas. Pigmentos escuros aumentarem a absorção da radiação solar e são mais passíveis de variação de tonalidade.

A quantidade de pigmento na mistura deve atender aos requisitos do projeto, podendo ser definida através de testes empíricos. A porcentagem de pigmento utilizada para colorir o concreto é muito superior àquela útil, que corresponderia à necessária para colorir a superfície aparente do concreto, por outro lado, quando o pigmento é inserido na massa do concreto, em caso de lascamento, por exemplo, a cor continua a mesma.

TABELA 2.9: Teores de pigmentos normalmente empregados.

Principais Pigmentos Inorgânicos	
Tonalidade Desejada	Teor de Pigmento
Tons pastéis (cimento branco)	1 a 2Kg por 100Kg de cimento
Tons médios	3 a 5 kg por 100Kg de cimento
Tons escuros	6 a 8 Kg por 100Kg de cimento

Fonte: (BENINI, 2005, pg.1418)

A quantificação dos materiais componentes do concreto colorido feita com uso de balança é mais precisa do que através de recipientes volumétricos.

São importantes, de acordo com BENINI (2005, pg1418), para a ideal homogeneização do concreto colorido:

- O tipo de equipamento que fará a mistura- betoneiras não são apropriadas para a mistura do concreto colorido, são adequados os misturadores forçados de contra-corrente, de eixo vertical simples ou planetário e os misturadores de eixo horizontal, que propiciam homogeneização adequada ao concreto;
- A sequência de adição do pigmento:

cimento+ pigmento	▶	cimento+ pigmento + agregado	▶	cimento+ pigmento + agregado + água
Pré-mistura a seco		Pré-mistura a seco		mistura a úmido

Pigmentos Líquidos

Esse tipo de pigmento, disperso em água, é encontrado nas cores ocre, cerâmica e grafite e apresenta as seguintes vantagens:

- Maior produtividade;
- Menor risco ambiental durante manipulação por não ser pulverulento;
- Dispersão acuosa garante homogeneização mais rápida da massa de concreto e, de conseguinte, ganho de coloração.

Processo sequencial de mistura da dispersão:

Agregados ► cimento ► 50% água total ► Pigmento +ativo ► 50% água total

Para controle de cor/tonalidade dos concretos brancos e coloridos podem ser feitas análises de cartas padrões (método subjetivo) ou empregados sistemas de medição de cor que utilizem cálculos e medições (método científico, exemplo: sistema CIELAB).

2.4.4 Concreto Fotografado

A reprodução de fotografias e desenhos em concreto pode ser obtida, pelo sistema de pré-fabricação, a partir da utilização de desativante, **Concreto Fotografado**, ou de técnica que utiliza sistema de fôrma em baixo relevo, **Fotogravação**.

O processo que utiliza desativante ou retardamento seletivo da matriz cimentícia, de acordo com BENINI (2005, pg.1433), compreende as seguintes etapas:

- Aplicação de desativante específico em placas rígidas, impresso ponto a ponto, conforme a fotografia. Tamanho e quantidade de pontos de acordo com a imagem;
- Colocação das placas no fundo da fôrma;
- Lançamento do concreto na fôrma, sobre a placa;
- Após o endurecimento do concreto, a peça é retirada do molde;
- Lavagem da peça com jato de água de alta pressão para retirar a argamassa estabilizada, ficando expostos os agregados.

A imagem é percebida pelo contraste resultante entre as partes desativadas e não desativadas.

Nesse método, em que não se pode utilizar desmoldantes, os materiais devem ser criteriosamente selecionados para não interferirem de forma negativa na imagem, e ao mesmo tempo, para efetivarem o contraste, ainda segundo BENINI, o concreto deve ser auto-adensável, não pode ser vibrado e deve ter as seguintes características:

- Fator água/cimento entre 0,45-0,20;
- Porcentagem mínima de finos de 450kg/m³;
- Espalhamento entre 70-75cm;
- Cimento de alta resistência inicial;
- Agregados- dimensão máxima em função da profundidade de ataque. Seleção de cores que contrastem com a matriz de cimento branca ou cinza.



Foto 2.29: Eberswalde Technical School Library, Eberswalde, Alemanha, 1999, arquitetos Herzog & de Meuron, artista Thomas Ruff. Foto Margherita Spiluttini.

Fonte: <http://www.nbnnews.com/CHBC/issues/2004-09-09/9.html>

Todo o cuidado deve ser tomado na produção do concreto para obter reprodução com boa definição, com qualidade fotográfica e evitar defeitos, falhas e indefinição das imagens, é importante: evitar excesso de finos e pigmentos; controlar o tempo de pega e a dosagem do concreto; não utilizar cura térmica; elaborar provas; iniciar a lavagem no mínimo 24h após o lançamento na forma,

com baixa pressão, para não remover os agregados menores e; após lavada a peça, evitar desgastes por abrasão.

A técnica que utiliza sistema de fôrma em baixo relevo, processo de Fotogração, sistema RECKLI®-Formliner, conforme RECKLI e NAWKAW, tem processo orientado por computador para realizar a transferência das imagens, que são digitalizadas e convertidas em imagem de 256 tons de cinza. Os valores das escalas de cinza são utilizados para transferir as imagens para o material do molde, eles geram arquivo de processos contendo comandos de moagem para uma máquina específica que esculpe o molde, criando sulcos com profundidades variadas. O relevo da superfície do concreto, impresso pela fôrma na concretagem, é que compõe e produz a imagem, que é percebida mais ou menos nítida, de acordo com o ângulo de visão e incidência de luminosidade, pelo contraste entre sombra e luz. Portanto a fachada de um edifício de concreto aparente fotografado pode aparentar efeitos diversos, de acordo com a posição do observador e a incidência da luz, solar ou artificial.



Foto 2.30/2.31: Edifício Universidade Paul Sabatier, Toulouse, Arquit. Agência Espagno & Milani – concreto fotografado detalhe fachada- processo de fotogração, RECKLI®-Formliner sistema – molde e fachada. Fonte: http://www.nawkaw.com/formliners/1143_Fotobeton_Toulouse.pdf

Esse tipo de concreto aparente permite inúmeros efeitos arquitetônicos que devem ser estudadas em detalhes nos projetos e através de simulações em programas tridimensionais. Pode-se utilizar sistema de modulação quando a superfície (fachada) supera, em dimensões, os limites impostos pelo tamanho de

molde disponível, pelo alcance da máquina que esculpe ou pela pré-fabricação do concreto. Podem ser feitos painéis que juntos formam apenas uma imagem ou que formam uma composição de imagens, em ambos os casos, as juntas entre as peças devem ser estudadas para não interferirem no resultado final.



Foto 2.32: Universidade Paul Sabatier, Toulouse, arquitetura Agência Espagno & Milani - fachada modulada -concreto fotogravado - RECKLI®-Formliner sistema - painéis 2,40 m x 1,20 m, efeito de colagem. Fonte: http://www.nawkaw.com/formliners/1143_Fotobeton_Toulouse.pdf.



Foto 2.33/2.34: alicação de figuras - técnica que utiliza sistema de fôrma em baixo relevo - RECKLI®-Formliner sistema.

Fonte: <http://www.nawkaw.com/formliners/downloads/1117.pdf>

2.5 Avanço Tecnológico

2.5.1 Concreto com efeito fotocatalítico

O desenvolvimento de concretos com efeito fotocatalítico que promovem a auto-limpeza da superfície exposta e que combatem a poluição representam importante avanço na tecnologia do concreto aparente em favor da sustentabilidade.

Um dos problemas da utilização do concreto aparente é que, como visto, em contato com o meio ambiente, ao longo do tempo, tem sua qualidade estética diminuída devido ao acúmulo progressivo de sujeira em sua superfície, que pode ocorrer em função da deposição de partículas poluentes atmosféricas (de origem natural- ventos, vulcões - ou produzidas pelas atividades humanas), da proliferação de microorganismos ou por mau uso (pichação), solicitando constante manutenção. A qualidade do uso, as propriedades superficiais do concreto como rugosidade, porosidade, permeabilidade, as características da construção, como os detalhes construtivos, e, o entorno com seu micro clima, como sentido e intensidade de incidência de vento, de chuva, quantidade e tipos de poluentes, entre outros, são fatores que influem no desempenho e no grau de deterioração da superfície da estrutura de concreto aparente ao longo de sua vida útil. Os sistemas de proteção superficial têm vida útil reduzida em relação ao concreto, o que resulta em procedimentos e custos de manutenção da estrutura.

Para solucionar este problema várias soluções têm sido propostas e patenteadas, dentre elas, a tecnologia de concretos com efeito fotocatalítico, que, segundo descrito em CALCIA, aproveita de forma útil, a abundante e renovável energia solar, o que representa caminho eficiente para o desenvolvimento tecnológico, a baixo custo. Atualmente, dois cimentos compatíveis com essa tecnologia estão sendo produzidos pelo grupo Italcementi que, desde 1996 já registrou 12 patentes sobre fotocatalise aplicada a materiais cimentícios e fabrica vários

produtos (tintas, argamassas, etc.) com esse princípio: um com propriedade autolimpante, que reduz a sujeira de origem biológica, e outro, que combate a poluição atmosférica.

Tintas e proteções superficiais com efeito fotocatalítico, aplicadas sobre o concreto, ficam sujeitas a danos que podem deixá-lo sem proteção. Já o concreto fotocatalítico, que tem incorporado referido efeito, mesmo se sofrer abrasão ou lascamento da superfície, não perde suas propriedades. A desvantagem do cimento em relação às primeiras é que o uso deste no concreto significa, conforme Italcementi, patente US 6,824,826 B1 (2004, pg.1), maior consumo de substância fotocatalítica, muito além do necessário para a proteção da superfície, ficando grande parte inativa no interior da massa cimentícia o que requer maiores investimentos iniciais.

A fotocatalise, de acordo com BÉTOCIB, é um fenômeno natural que utiliza a energia luminosa. Consiste na aceleração da velocidade de reações químicas a partir da incidência de raios ultravioleta (UV) em substância catalisadora, que não se altera no processo e gera a decomposição e neutralização de substâncias nocivas presentes na atmosfera que contribuem para o efeito estufa.

A fotocatalise age sobre compostos biológicos e sobre alguns poluentes primários, danosos ao meio-ambiente, como os produzidos pela combustão de motores de veículos - monóxido de carbono, óxidos de azoto (NOx) e compostos orgânicos voláteis (COV) - que podem, através de reações químicas, produzir poluentes secundários, que são ainda mais nocivos, como a chuva ácida (pg. 28) e o ozônio, promovendo oxidação ou reduzindo-os a elementos menos nocivos, que serão lavados da superfície do concreto pela chuva, que ficará limpa.

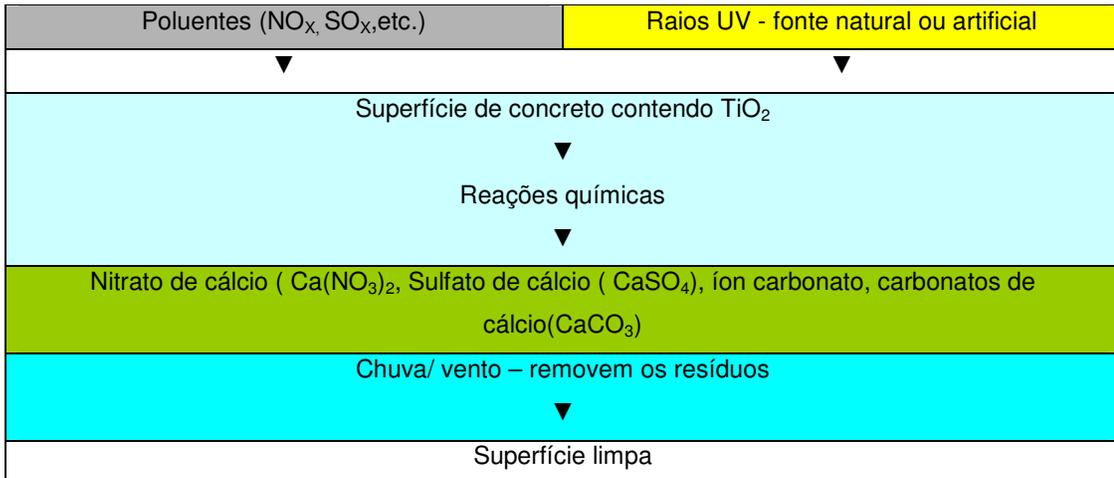
TABELA 2.10: Poluentes Atmosféricos.

Indústria	▶	Poluentes Primários - monóxido de carbono (CO), óxidos de azoto (NO _x)/Hidrocarbonetos, dióxido de enxofre (SO ₂), partículas em suspensão.	▶	Poluentes Secundários - mais nocivos, derivados dos primários. Chuva ácida, ozônio, etc.
tráfego				
Natureza(vulcão, etc.)				

Fonte: **Poluentes Atmosféricos**, acesso em: <http://www.cm-seixal.pt/NR/rdonlyres/0C90BB35-8997-4014-A011-0B2B21FE4946/275/PoluentesAtmosf%C3%A9ricos.pdf>

No concreto fotocatalítico o processo é ativado quando da incidência de raios UV (luz solar ou artificial), sobre a superfície contendo semi-condutor, canalizador – para o concreto tem sido utilizado o dióxido de titânio (TiO₂ - preferencialmente na forma de anatase). Na presença de oxigênio e água, acelera a velocidade de reações de óxido-redução.

TABELA 2.11: Mecanismo da fotocatalise no concreto fotocatalítico.



Fonte: ITALCEMENTI <http://www.italcementi.it/NR/rdonlyres/C1C6D010-168C-4694-B7D7-4C3B280A4B85/0/TXactiveapprofondimentonov2009.pdf>

O titânio é um metal presente na natureza, que forma o dióxido de titânio (TiO₂), utilizado em forma de pigmento branco, que age apenas na ativação e aceleração do processo fotocatalítico, não sofrendo alteração, de forma que, terminado um ciclo de fotocatalise, pode participar de outro. Na reação de óxido-redução, a reação de oxidação de uma substância, que envolve perda de elétrons e a de redução, que envolve ganho de elétrons, ocorrem na mesma reação química através de transferência de elétrons da substância que sofre oxidação

(agente redutor) para outra que sofre redução (agente oxidante), como descreve NOGUEIRA e JARDIM (1997, pg.01-02):

“ Um semiconductor é caracterizado por bandas de valência (BV) e bandas de condução (BC) sendo a região entre elas chamada de "bandgap". Uma representação esquemática da partícula do semiconductor é mostrada na figura 1. A absorção de fótons com energia superior à energia de "bandgap" resulta na promoção de um elétron da banda de valência para a banda de condução com geração concomitante de uma lacuna (h^+) na banda de valência. Estas lacunas mostram potenciais bastante positivos, na faixa de +2,0 a +3,5 V medidos contra um eletrodo de calomelano saturado, dependendo do semiconductor e do pH. Este potencial é suficientemente positivo para gerar radicais $HO\cdot$ a partir de moléculas de água adsorvidas na superfície do semiconductor (eq 1-3), os quais podem subseqüentemente oxidar o contaminante orgânico. A eficiência da foto-catálise depende da competição entre o processo em que o elétron é retirado da superfície do semiconductor e o processo de recombinação do par elétron/lacuna o qual resulta na liberação de calor (eq.4): “

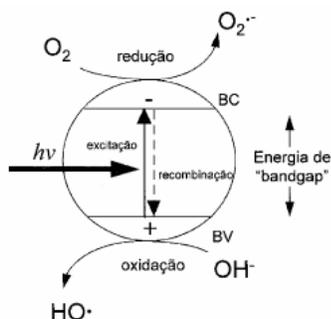
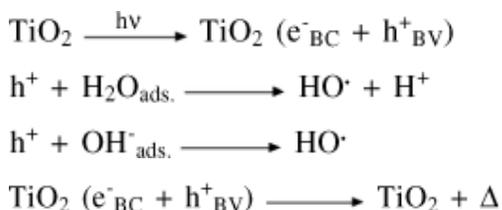
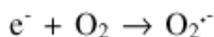
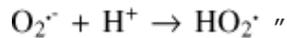


Figura 1. Esquema representativo da partícula de um semiconductor.
BV: banda de valência; **BC:** banda de condução.



Estudos mais recentes têm demonstrado que o mecanismo de degradação não se dá exclusivamente através do radical hidroxila mas também através de outras espécies radiculares derivadas de oxigênio ($O_2\cdot^-$, $HO_2\cdot$, etc.) formadas pela captura de elétrons fotogerados¹³⁻¹⁴:





Estão sendo produzidos dois tipos de concreto que utilizam tecnologia baseada no fenômeno da fotocatalise:

- O concreto autolimpante, que preserva a qualidade estética original relativa à aparência ao longo do tempo;
- O concreto despoluente, que promove a purificação do ar.

2.5.1.1 Concreto Autolimpante

2.5.1.1.1 Conceito

O concreto autolimpante é o concreto que, elaborado com cimento composto por substância catalisadora, sob incidência de raios ultravioleta, atua de acordo com o fenômeno da fotocatalise, gera a decomposição de compostos biológicos, promovendo a limpeza de sua superfície aparente e, portanto, conservação de sua qualidade estética.

2.5.1.1.2 Propriedades

O concreto autolimpante, que possui efeito fotocatalítico, tem como característica específica o combate, ao longo do tempo, à formação e acúmulo de sujidades biológicas sobre sua superfície aparente, ao promover, continuamente, satisfeitas as condições necessárias, rápida decomposição dos compostos orgânicos e descolamento das sujidades, que serão removidas pela chuva. O TiO_2 na forma de anatase sob a ação de raios ultravioleta tem a propriedade de diminuir o ângulo de contato, tornando a superfície hidrofílica, com afinidade com a água, que se espalha ao longo da superfície, ocorrendo o fenômeno de molhamento, que facilita a referida remoção. As demais propriedades do concreto

autolimpante, nas primeiras idades ou endurecido, são as mesmas do concreto aparente.

Sua ação é, a princípio, perene, de forma a manter a qualidade original de sua aparência ao longo do tempo de vida. Isso porque, como já dito, além do catalisador não se alterar com o processo, ele, como componente do cimento, está presente em toda a matriz cimentícia o que garante a fotocatalise mesmo em caso de desgaste ou lascamento da superfície original. Atua independentemente da orientação da superfície do concreto em relação à fonte de raios ultravioleta (UV), porém depende da incidência de quantidade necessária à fotocatalise.

O concreto autolimpante é específico para uso aparente, já que tanto as reações químicas como a lavagem, que caracterizam sua ação, dependem do contato direto do TiO_2 com o meio ambiente. É indicado para construções situadas em meios favoráveis à proliferação de organismos biológicos (fungos, vegetação, etc.). Não é eficaz contra tintas de pichação resistentes a raios UV, a região da superfície que recebe este tipo de tinta tem sua propriedade autolimpante reduzida, o que é revertido após sua remoção. Acabamentos lisos, polidos ou brutos de desforma são mais indicados por dificultar a fixação da umidade e de partículas e sementes concorrendo, em sintonia com o efeito autolimpante do concreto, para atendimento a requisito de limpeza, estético e sustentável.

O cimento autolimpante (Tabela 2.13), é fabricado nas cores cinza e branca. Pigmentos orgânicos naturais não podem ser utilizados no concreto por sofrerem o efeito do catalisador presente na mistura, já aqueles sintéticos – óxidos de ferro, cromo, cobalto, titânio - podem ser usados, o que significa um avanço tecnológico na conservação de concretos coloridos aparentes.

O concreto autolimpante promove:

- Aumento da durabilidade das construções;
- Redução de trabalhos, materiais e custos de manutenção;
- Conservação da qualidade estética ao longo do tempo.

De acordo com ITALCIMENTI - CALCIA Ciments, *Dossier Technique TX Active*®
- a propriedade autolimpante está diretamente relacionada com:

A. *Meio Ambiente* – quantidade e tipo de sujidades a que a superfície do concreto estará sujeita:

- Sujidades de origem orgânica (algas, bactérias, etc.), eliminadas pela fotocatalise;
- sujidades de origem inorgânica (fuligem e pós minerais, resíduos de combustão, etc.), fixadas na superfície utilizando moléculas orgânicas.

B. *Condições de exposição* – a umidade relativa influi na tendência à proliferação de microorganismos, gerando sujidades de origem orgânica. Temperaturas mais altas favorecem o processo fotocatalítico.

- Baixa umidade relativa, < 65%, não são favoráveis à proliferação de microorganismos;
- Média umidade relativa, entre 65% e 95%, pode ser favorável à proliferação de microorganismos;
- Alta umidade relativa, >95%, são favoráveis à proliferação de microorganismos.

C. *Superfície do concreto* – O tipo de superfície influi no grau de facilidade de fixação de sujidades e umidade.

- Lisa – polida, bruta de desforma – difícil fixação, fácil secagem, não são favoráveis à proliferação de microorganismos;
- Rugosa – moderadas fixação de sujidades e conservação da umidade, favorável à proliferação de microorganismos;
- Muito rugosa - facilidade de fixação de sujidades e conservação da umidade, favorável à proliferação de microorganismos; pouca matriz cimentícia, quantidade reduzida de catalisador em contato com o meio,

para a fotocatalise. Quanto mais TiO₂ na superfície, mais eficaz será a foto catalisação.

TABELA 2.12: Guia de ajuda de prescrição do concreto autolimpante.

Meio ambiente (sujidades)	orgânica						orgânica e inorgânica			inorgânica					
	<65			Entre 65% e 95%			>95%								
Condições de exposição (umidade relativa)	<65			Entre 65% e 95%			>95%								
Superfície (tipo)	lisa	rugosa	muito rugosa	lisa	rugosa	muito rugosa	lisa	rugosa a muito rugosa	lisa	rugosa	muito rugosa	lisa	rugosa a Muito rugosa	lisa a muito rugosa	
prescrição	F	F	A	F	F	A	A	D	F	A	D	A	D	D	D

Fonte: (Ciments Calcia - Italcementi Group, Dossier Technique TX Active ®).

Legenda:

- F** Condições favoráveis à utilização do cimento autolimpante.
- A** Condições a avaliar quanto a utilização do cimento autolimpante.
- D** Condições desfavoráveis à utilização do cimento autolimpante.

Breve análise indica que, dias quentes, ensolarados, com altas temperaturas e baixa umidade relativa, oferecem condições ótimas para a ação fotocatalítica. Por outro lado, alta umidade e rugosidade superficial propiciam o acúmulo de sujeira.

O fabricante aplica teste para avaliação da atividade fotocatalítica que consiste em aplicar sobre a superfície do concreto autolimpante substância orgânica de cor rosa similar a sujidade de origem biológica e submeter à incidência de raios UV. Medidas colorimétricas são feitas para registrar o fenômeno fotocatalítico que é percebido através do desbotamento gradual da superfície rosa que se torna branca.

2.5.1.1.3 Forma de confecção

O concreto Autolimpante pode ter fabricação convencional em canteiro de obra ou ser pré-fabricado. Conforme BÉTOCIB (2009, pg.114), é composto por cimento branco ou cinza, CEM I 52,5 N, fabricado segundo procedimento industrial específico, acrescido de substância catalisadora, dióxido de titânio (TiO₂), em dosagem adequada a promover efeito fotocatalítico, o que o confere propriedade autolimpante. Os demais componentes do concreto autolimpante são os mesmos do concreto aparente.

TABELA 2.13: Composição e características do cimento autolimpante CEM I 52,5 N CE TX Active , TX Arca[®].

Tipo cores		Cimento Autolimpante		
		cinza	branco	
Composição Química	Clínquer ≥ 95%	C ₃ A	7	11,6
		C ₃ S	68,6	71,5
		C ₂ S	10,5	14,05
	SO ₃ (%)		3,5	2,68
	S ⁻ (%)		-	-
	Na ₂ O (equival. Ativo- %)		0,52	0,06
Características	Resistência mecânica argamassa (MPa)	1 dia	-	-
		2d	39	25
		28d	62	64
	Água pasta pura (%)		30	30,2
	Início de pega		3h10	3h
	Calor de hidratação à 41h(J/g)		370	368

Fonte: (Ciments Calcia - Italcementi Group, CEMI525NCETXActive.pdf).

Onde: C₃A = aluminato tricálcico / C₃S= silicato tricálcico / C₂S= Silicato bicálcico / SO₃= anidrido sulfúrico / Na₂O= óxido de sódio.

Normas de referência (BÉTOCIB, 2009, pg.114):

- Para o concreto autolimpante - norma francesa, NF EN 206-1 (abril 2004):*Béton – Partie 1: Spécification, performances, production et conformité. Deux amendements /A1 (abril 2005) et A2 (outubro 2005);*
- Para o cimento autolimpante - norma francesa NF EN 197-1 (fev.2001):*Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants. Amendement A1 (dec.e 2004 – NFEN 197-1/A1).*

2.5.1.1.4 Aplicação no Brasil e no mundo.

A aplicação do princípio da fotocatalise aos materiais da construção civil, como no concreto, também foi no Japão, na década de 90 (origem pg.14). O cimento Portland *com efeito fotocatalítico* desenvolvido e patenteado desde 1996 na Itália pela Italcementi Group, que tem empresas subsidiárias em 19 países, vários continentes (Europa, América do Norte, África e Ásia), é produzido na Itália e na França, tem sido testado e monitorado e, teve sua primeira aplicação, feita com concreto autolimpante, na construção da igreja Dives in Misericórdia (Foto 2.35), em Roma, Itália, em 1996, seguido da Cidade das Artes e da Música (Foto 2.37), em Chambéry -construída em 1999, cujo desempenho autolimpante está sendo monitorado por colorímetro em 2005, conforme CALCIA, não havia apresentado alterações na cor das fachadas – e da sede da polícia de Bordeaux, França, 2003. Além destes, também foram importantes obras realizadas com este concreto, dentre outras, a sede da Air France no aeroporto Charles de Gaulle em Paris (Foto 2.36), a residência Saint John's Court, Montecarlo, Mônaco, o Centro de arte dramática de Montreuil, França, a Biblioteca multimídia de Saint Ouen, França. Hoje, está sendo utilizado em vários países da Europa, Norte Americanos, Marrocos, etc., sempre na cor branca. No Brasil, entretanto, não há registro de sua utilização.



Foto 2.35: Concreto branco bruto com propriedades fotocatalíticas - Igreja da Misericórdia (Roma).

Fonte:<http://alessandro1971.splinder.com/archive/2006-11>



Foto 2.36: Sede da Air France , Aeroporto Internacional Roissy Charles de Gaulle, Paris - localizado em área com concentrações elevadas de hidrocarbonetos, tráfego contínuo - concreto polido branco .

Fonte:<http://www.ciments-calcia.fr/FR/Nos+produits/TX+Active/>



Foto 2.37: a Cité des arts et de la musique, Chambéry-arquitetos Yann Keromnes, Aurelio Gafeltti, François -concreto cinza bruto. Fonte: <http://www.italcementi.it/NR/rdonlyres/C1C6D010-168C-4694-B7D7-4C3B280A4B85/0/TXactiveapprofondimentonov2009.pdf>



Foto 2.38: Imóvel em Ostende, Bélgica, 2005, arquiteto *Luc Declercq* - Concreto polido branco- forte exposição aos agentes orgânicos agressivos pela proximidade do mar. Fonte: <http://www.italcementi.it/NR/rdonlyres/C1C6D010-168C-4694-B7D7-4C3B280A4B85/0/TXactiveapprofondimentonov2009.pdf>



Foto 2.39: Escultura de 9 m de altura, concreto autolimpante, ponte di Minneapolis, sobre o rio Mississippi, projeto *FIGG* e *Oslund*, 2008. Fonte: <http://www.italcementigroup.com/ITA/Comunicazione+e+Media/News/Edilizia+e+Archtettura/20080918.htm>



Foto 2.40: Centro de Pesquisa do grupo Italcementi, Bergamo, Itália, previsão de inauguração no início de 2011, com concreto aparente autolimpante - Projetado por Richard Meier, de acordo com a certificação LEED e premiado com o Green Good Design Award do Chicago Atheneum e do European Centre for Architecture Art Design and Urban Studies. Fonte: <http://www.italcementigroup.com/ITA/Comunicazione+e+Media/News/Edilizia+e+Archtettura/20090617.htm>

2.5.1.2 Concreto Despoluente

2.5.1.2.1 Conceito

O concreto despoluente é o concreto que, elaborado com cimento composto por substância catalisadora, sob incidência de raios ultra violeta, atua conforme o fenômeno da fotocatalise, gera a eliminação de alguns poluentes como óxidos de azoto (NO_x) e de compostos orgânicos voláteis (COV_s), reduzindo a poluição no meio ambiente.

2.5.1.2.2 Propriedades

A poluição atmosférica, composta de substâncias, orgânicas e/ou inorgânicas, nocivas à vida e às coisas, causam doença, morte e degradação. A maioria destas substâncias são produzidas pelas atividades humanas (transportes, indústria, usinas, combustão, aplicação de pesticidas, pó de extração mineral, etc.), sendo que sujidades podem ter origem em fenômenos da natureza, como uma explosão vulcânica por exemplo (Tabela 2.10).

Nas cidades, onde se concentram as várias atividades humanas, e portanto, se produzem diversas substâncias nocivas, é onde o dano é mais evidente, afetando diretamente a saúde das pessoas. A poluição pode ser primária, quando diretamente emitida pela fonte (monóxido de carbono, óxidos de Azota e partículas inferiores a 10µm), ou secundária, originárias das primárias, mais tóxicas e perigosas para o ecossistema (Tabela 2.10).

O concreto despoluente, que possui efeito fotocatalítico, tem como propriedade específica o combate, ao longo do tempo, das partículas de poluição dispersas no ar, ao promover, continuamente, satisfeitas as condições necessárias às reações químicas, a eliminação ou transformação destas partículas nocivas em substâncias mais inócuas.

O concreto despoluente, feito com cimento composto por TiO₂ (Tabela 2.14), conforme visto, atua de acordo com o princípio da fotocatalise. Transforma os óxidos de azoto (NO_x) em compostos estáveis, elimina o ozônio, degrada os compostos orgânicos voláteis (COVs). Sob a incidência de raios ultra-violeta emitidos pela luz solar ou artificial, reações químicas entre o catalisador TiO₂ e os compostos poluentes em contato com a superfície exposta do concreto, resultam na decomposição destes compostos, na redução da poluição. As demais propriedades, reológicas e mecânicas, do concreto despoluente são as mesmas do concreto aparente.

O concreto despoluente é próprio para ser utilizado aparente. São indicados para construções situadas em meios poluídos, barreiras acústicas, entradas de túneis (no interior, com utilização de iluminação artificial), vias, etc. Não há restrições quanto ao acabamento a ser utilizado na superfície exposta do concreto, deve-se apenas levar em conta que o desempenho deste concreto depende da área de superfície em contato com o meio ambiente poluído e do vento (pg.28), que transporta os compostos poluentes até a referida superfície.

Influem no desempenho do concreto despoluente as condições climáticas (temperatura, umidade relativa, etc.), intensidade de luz incidente, as características geométricas do local, a orientação de incidência e velocidade do vento, a adesão de substâncias poluentes na superfície, a quantidade de agente ativo presente na superfície.

O concreto despoluente promove:

- Redução da poluição no meio ambiente;
- Melhora a qualidade do ar
- E, conseqüentemente, ao eliminar poluição, propicia:
 - Aumento da durabilidade das construções;
 - Redução de trabalhos, materiais e custos de manutenção;
 - Qualidade estética ao longo do tempo.

2.5.1.2.3 Formas de confecção

O concreto despouente pode ser fabricado de forma convencional, em canteiro de obra, ou pré-fabricado.

O concreto despouente, conforme BÉTOCIB (2009, pg.115), é composto por cimento branco ou cinza, CEM I 52,5 N, fabricado segundo procedimento industrial específico, acrescido de substância catalisadora, dióxido de titânio (TiO₂), em dosagem adequada a promover efeito fotocatalítico, o que o confere propriedade despouente. Os demais componentes do concreto despouente são os mesmos do concreto aparente.

TABELA 2.14 Composição e características do cimento despouente TX Aria[®].

Tipo		Cimento Despouente		
cores		cinza	branco	
Composição Química	Clínquer ≥ 95%	C ₃ A	7	11,6
		C ₃ S	68,6	71,5
		C ₂ S	10,5	14,05
	SO ₃ (%)		2,8	2,61
	S ⁻ (%)		-	-
	Na ₂ O (equival. Ativo- %)		0,52	0,06
Características	Resistência mecânica argamassa (MPa)	1 dia	-	-
		2d	37	38
		28d	65	63
	Água pasta pura (%)		28	30,6
	Início de pega		2h50	2h20
	Calor de hidratação à 41h(J/g)		350	377

Fonte: (Ciments Calcia - Italcementi Group, CEMI525NCETXActive.pdf).

Onde: C₃A = aluminato tricálcico / C₃S= silicato tricálcico / C₂S= Silicato bicálcico / SO₃= anidrido sulfúrico / Na₂O= óxido de sódio

Normas de referência (BÉTOCIB, 2009, pg.115):

- Para o concreto autolimpante - norma francesa, NF EN 206-1 (abril 2004) :*Béton – Partie 1: Spécification, performances, production et conformité. Deux amendements /A1 (abril2005) et A2 (outubro 2005);*
- Para o cimento autolimpante - norma francesa NF EN 197-1 (Fev. 2001): *Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants. Amendement A1 (dec. 2004 – NFEN 197-1/A1).*

2.5.1.2.4 Aplicação no Brasil e no Mundo

O concreto despoluente pode ser aplicado , de acordo com a Italcementi, em estruturas horizontais – vias, estradas, lajes – e verticais – barreiras, túneis, painéis pré-fabricados, etc.

O concreto despoluente está em fase de testes. Foi aplicado, no interior de um cômodo de 35m², com uma superfície de 4m² contendo cimento despoluente, onde foi insuflado NO₂, e acesa lâmpada UV. Como resultado, o Nox foi totalmente eliminado em 6 horas. Uma experiência ao ar livre, foi realizada em Guerville, França, na « rue Canyon », onde foi montado um modelo a 1/5 da escala real e reproduzidas condições ambientais do contexto urbano. As paredes dessa rua foram revestidas de material cimentício despoluente e, as de uma outra rua, de mesmas características, com material cimentício comum. Além de constatada a efetiva despoluição da rua tratada, a redução de poluição, graças ao efeito fotocatalítico, variou de acordo com a direção do vento entre 20% (vento paralelo aos muros) à 80% (perpendicular). O que significa que a ação despoluidora é mais significativa quando os gases ficam mais tempo junto à superfície.

Obras têm sido feitas - geralmente assentando o produto despoluidor em passeios ou vias urbanas, situação em que a principal fonte poluente (veículos) está bem próxima da superfície tratada - em carácter experimental na Itália,

França e Bélgica, com a finalidade de observar o desempenho do cimento despoluidor. No Brasil, não há registro de sua utilização.



Foto 2.41: Pavimento em blocos concreto fotocatalítico, Antuérpia, Bélgica

Fonte : http://www.brrc.be/pdf/tra/tra_beeldens_txt.pdf

Foto 2.42: Rue Jean Bleuzen – Vanves, França – aplicação de concreto despoluente sobre base de concreto existente, redução de poluição 20%. Fonte:

<http://www.italcementi.it/NR/rdonlyres/C1C6D010-168C-4694-B7D7-4C3B280A4B85/0/TXactiveapprofondimentonov2009.pdf>

2.5.2 Concreto Translúcido

2.5.2.1 Conceito

O concreto translúcido é um concreto aparente que contém fibra óptica, através da qual se dá a passagem da luz (foto 2.43). De acordo com LITRACON, o concreto translúcido Litracon™ é uma combinação de concreto fino com fibras ópticas que forma o concreto transmissor de luz.



Foto 2.43: concreto transmissor de luz - Litracon™

Fonte: <http://www.litracon.hu/aboutus.php>

O concreto translúcido, criado em 2001, foi desenvolvido e patenteado pelo arquiteto Húngaro Aron Losonczi, que incorporou fibra óptica à matriz cimentícia, sem prejuízo da resistência à compressão característica do concreto estrutural. De acordo com BUONO (2006), esse material é produto da observação do arquiteto que, inspirado em obra de arte do artista romeno Varga St. Luigi, composta de bloco de concreto com vidro, e portanto, de opacidade e brilho, criou nova estética para o concreto.

Constitui inovação tecnológica na área de materiais de construção de interesse especial, que representa:

- Recurso estético, a ser utilizado por arquitetos, que agrega valor ao empreendimento;
- Recurso técnico para utilização de iluminação natural e economia de energia.

2.5.2.2 Propriedades

A principal propriedade do concreto translúcido é a translucidez, graças à incorporação de fibra óptica ao concreto.

Relata BUONO (2006) que testes realizados em laboratório com os blocos indicaram que o concreto translúcido conserva as características do composto

cimentício comum e que Losonczi afirma que pode ter sua composição adaptada a projeto específico. Isso confere a esse material grande versatilidade técnica, de uso e estética (resistência, cores, desenhos, quantidade de transparência, etc.).

Conforme WIKIPÉDIA, fibras ópticas são filamento de material transparente, de vidro (inorgânico, amorfo) ou de materiais poliméricos (orgânicos, sintéticos), de diâmetros variáveis, capaz de transmitir a luz, que percorre a fibra através de reflexões sucessivas, de uma extremidade à outra, em alta velocidade (cerca de 1Gbps). Segundo BUONO, as fibras ópticas de vidro podem ter de 30 à 100 micrômetros de diâmetro e as de plástico, de 0,5 à 2,5 milímetros de diâmetro, sendo que essas últimas transmitem melhor as cores.



Foto 2.44: fibra óptica para LiTracon (foto Domus 875, 2004)

Fonte: <http://www.architetturadi Pietra.it/blog/stampa.php?idnotizia=186>, 23/01/10- 18:51

As fibras ópticas são dispostas no bloco, paralelamente e com as extremidades expostas nas superfícies que ficarão aparentes, através das quais ocorrerá a transmissão de luz, natural ou artificial (Foto 2.43).

O feixe de luz, ao incidir em superfície de peça do concreto translúcido, especificamente na fibra óptica, atravessa o material, ilumina o meio oposto e, pelo fato das fibras estarem intercaladas com a massa do concreto, que é opaca, produz o efeito translúcido, sendo que os objetos dispostos no meio iluminado pelas fibras, são vistos, no meio de incidência do feixe, geralmente sombreados, com pouca distorção em relação aos respectivos objetos, sendo possível, dependendo da distância do objeto da superfície e do observador, perceber suas cores.

O volume das fibras representa, aproximadamente, 4% do volume total do bloco. As fibras incorporam ao concreto como os agregados, formando um único material, com massa homogênea e não exercem efeito negativo na resistência à compressão do concreto. A transmissão de luz via fibras - através da espessura do bloco - funcionam, sem perda significativa, ao longo de até 20 metros de comprimento.

A transmitância luminosa depende da quantidade e qualidade das fibras, normalmente, aproximadamente 1/10 da luz incidente na superfície do bloco é emitida para o lado oposto.

O concreto translúcido pode ser assentado com vedação à prova d'água e conter isolante térmico. É fabricado nas cores branca, cinza, preta, podendo ser produzido em tamanhos, espessuras e cores fora do padrão.

Características padrão do bloco:

- Densidade : 2100 - 2400 kg/m
- Tamanho (padrão e máximo): 600 x 300 mm
- Espessura: 25mm à 500 mm
- Acabamento: polido
- Resistência à Compressão: 50 N/mm² (ou MPa)
- Resistência á flexão: 7 N/mm²



branco



cinza



preto

Foto 2.45: Cores padrão Litracon™ - Light Transmitting Concrete

Fonte:[http://www.litracon.hu/images/content/Litracon_Data_Sheet\(1\).pdf](http://www.litracon.hu/images/content/Litracon_Data_Sheet(1).pdf)

2.5.2.3 Formas de confecção

O concreto translúcido é um material compósito, composto por matriz (meio aglomerante, comumente formado por cimento e água) e elemento de reforço (agregados como brita e areia), e por fibras ópticas, podendo conter na mistura, aditivos, fibras, pigmentos e adições, sendo, basicamente, formado por 96% de concreto e 4% de fibra ótica. Pode ser pré-fabricado em blocos ou painéis. Atualmente é fabricado na forma de bloco, com as características descritas no item anterior, **translúcido com fibras transmissoras de luz**, no entanto, já existe patente registrada – **bloco de construção translúcido** - pelo mesmo autor, LOSONCZI, em que se vê novidade na composição e método de fabricação em relação à anterior, embora não se tenha notícia ainda de sua produção, como a seguir descritas.

Bloco de concreto translúcido com fibras transmissoras de luz

De acordo com a patente nº US 2005/0183372 A1 (LOSONCZI ,25/agosto/2005), o método para produzir o bloco de concreto translúcido com fibras transmissoras de luz, compreende as seguintes etapas:

- Adição de material moldável dentro da forma (alongada, com paredes laterais e base);
- Disposição de uma camada de fibras, várias e paralelas, longitudinalmente, ao longo da fôrma, que pode ser de aço ou madeira;
- Submeter a forma à pressão mecânica e/ou vibração até que as fibras afundem na matriz até o nível desejado;
- Repetir a seqüência de procedimentos até completar altura prevista;
- O concreto passa do estado fresco para o endurecido no molde e resulta em peça sólida homogênea;
- Remoção da peça do molde;

- Corte dos blocos - a peça será cortada, no sentido transversal, em blocos, de forma que as extremidades das fibras fiquem visíveis nas laterais dos blocos e ao formar uma parede, fiquem expostas.



Foto 2.46: Concreto translúcido - processamento

Fonte: <http://www.architetturadi Pietra.it/blog/index.php?categoria=14>- 23/01/10- 18:51

As fibras ópticas, podem ser de plástico transparente, de vidro, ou similar. A espessura da fibra pode variar de décimetros de milímetros para milímetros e o número por bloco pode ser de algumas centenas até alguns milhares.



Foto 2.47: Nesse método de confecção, como não há fixação da posição das fibras, embora dispostas paralelamente no molde durante o processo de produção, no bloco aparentam dispersão orgânica na massa do concreto.

Fonte: [http://www.litracon.hu/images/content/Litracon_Data_Sheet\(1\).pdf](http://www.litracon.hu/images/content/Litracon_Data_Sheet(1).pdf)

Como material fundido pode ser utilizado cimento, gesso, plástico, ou similares, sendo o concreto e o cimento os mais convenientes por fornecer densidade média característica de bloco de construção, de aproximadamente 2200Kg/m³ a 2400Kg/m³. A relação volumétrica entre o material fundido, concreto e as fibras é, preferencialmente, de 1:15 até 1:8. As dimensões convenientes do bloco, produzido por este método são: 250x120x68 mm, que pesa aproximadamente 5 Kg e possui relação concreto/fibra de 1:13. Esse método tem como vantagem a produção contínua.

Bloco de construção translúcido

A patente nº WO2009007765 (LOSONCZI, 2009) descreve: método para produção de concreto translúcido em bloco, contendo material translúcido e material moldável, preferencialmente o concreto, de fácil produção, baixo custo, utilizando materiais mais econômicos e capaz de produzir blocos com medidas arbitrárias; apresenta solução para fixação da posição dos elementos translúcidos e de fixação de estruturas auxiliares aos moldes; mostra a capacidade de organizar os elementos translúcidos de forma a compor desenhos, palavras, símbolos em paredes sólidas, que ficaram evidentes quando da passagem da luz.

O método para produção de concreto translúcido em bloco com os elementos translúcidos ordenados consiste em: a partir de um molde delimitado por uma base e paredes laterais, posicionar em sua cavidade, ordenadamente, o material translúcido, de forma que as suas extremidades fiquem aparentes nas superfícies da peça que ficarão expostas para que ocorra a passagem de luz, com o auxílio de estrutura de retenção e elementos de fixação, e encher o molde com o material moldável, de onde será removido após endurecido. O acabamento da superfície do elemento translúcido é, preferencialmente, polida. Procedimento similar, porém específico é apresentado pelo autor para a montagem de molde vertical para a produção de uma parede pré-fabricada ou moldada no local.

A ordem dos elementos translúcidos é obtida a partir de inserção, na cavidade do molde, de estrutura de retenção plana ligada, transversalmente, às paredes de

contenção, que conterà esses elementos, geralmente transversalmente à estrutura de retenção, relativamente rígidos e translúcidos, dispostos paralelamente entre si e ordenadamente arranjados, de acordo com um projeto. Os elementos translúcidos terão suas extremidades coincidentes com as superfícies da peça que ficarão expostas para que ocorra a passagem de luz. Elementos de fixação são usados para fixar os elementos na estrutura, a estrutura no molde, etc.

Os elementos translúcidos, que devem ser contínuos para a transmissão da luz, e a estrutura de retenção podem ser de vidro ou plástico (policarbonatos, etc.), podendo ser de mesmo material ou de material diferente. Eles podem ser feitos separadamente ou fazerem parte de uma única peça. A estrutura de retenção deve ter superfície com isolante térmico. Os elementos translúcidos precisam ser “relativamente rígidos” para suportar forças que atuam durante a colocação e assentamento do concreto no molde sem ocorrer deformação permanente. O desenho da estrutura de retenção, a quantidade e espaçamento entre elementos translúcidos vão ser determinados de acordo com o resultado estético (desenho, símbolo, etc.) e a luminosidade final desejados. Elementos de fixação e reforço (pinos, ganchos, anéis, etc.) podem ser feitos de aço ou plástico. O bloco pode conter estrutura de reforço como as usadas em concreto armado se houver necessidade de aumento da resistência à tração.

O bloco pode ser fornecido com isolante térmico para retardar a transferência de calor entre superfícies, sem prejuízo da transmissão de luz, e da resistência mecânica.

Vantagem desse método:

- A personificação das paredes, com a possibilidade de infinitos desenhos, símbolos, etc., que ficam evidentes com a incidência de luz, natural ou artificial, o que constitui recurso estético para projetos arquitetônicos;
- facilidade de produção;
- baixo custo em relação ao método anterior;

- emprego de materiais menos de menor custo;
- tamanhos arbitrários;
- pode ser produzido em canteiro de obra;
- a possibilidade de fixação da posição dos elementos translúcidos entre si e no molde;

2.5.2.4 Aplicação no Brasil e no Mundo

A tecnologia que combina fibra óptica com o concreto pode ser explorada, como, por exemplo, mostra o trabalho de Zhou, Ou, Hang, hen, Ou (2009) que descreve pesquisa e experimento sobre a possibilidade de utilização da fibra ótica, adaptada com refletor, Fiber Bragg Grating (FBG), como sensor inteligente, capaz de indicar deformação, temperatura, etc., no monitoramento preventivo de patologias nas estruturas de concreto de infra-estrutura.

O concreto translúcido já foi utilizado em obras na Hungria (Fotos 2.49 e 2.50), Bélgica, Suécia e Estados Unidos (Foto 2.48). Entre nós, entretanto, não há registro de sua utilização.

Está sendo construído com blocos de “cimento transparente” - novo material desenvolvido pelo grupo Italcementi (Fotos 2.51 e 2.52) – o pavilhão Italiano da Exposição Universal – World Expo 2010 Shanghai, que vai ocorrer em maio/outubro de 2010, em de Xangai, China e cujo será "Melhores Cidades, Maior Qualidade de Vida", relativo à qualidade de vida urbana no século XXI, ao desenvolvimento sustentável.



Foto 2.48: concreto translúcido, Memorial Iberville Parish Veterans, Baton Rouge, Louisiana, USA, Grace & Hebert Arquitetos, 2008. Fonte: <http://www.litracon.hu/projects.php#>



Foto 2.49/50: Porta e entrada do Museum Cella Septichora, Káptalan utca, Pécs, Hungria, 2006, arquitetura Bachmam. Foto: Á. Losonczy. Fonte: <http://www.litracon.hu/downloads.php>.

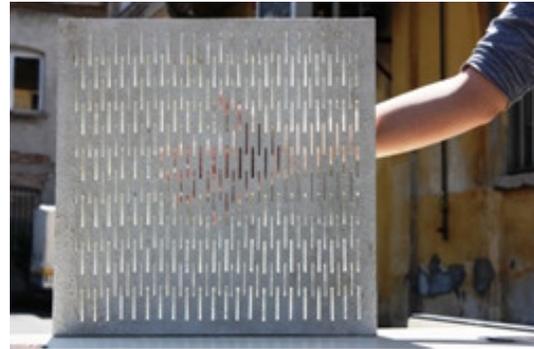


Foto 2.51: Pavilhão Italiano na Expo 2010 de Xangai, China. Fonte:
<http://en.expo2010.cn/a/20090509/000003.htm>

Foto 2.52:Pavilhão Italiano na Expo 2010 de Xangai, China, bloco de cimento transparente desenvolvido pela Italcementi, sem fibras óticas , com adição de resina plástica, que pode ter cor, - projeto elaborado para o desmonte.

Fonte: <http://www.italcementi.it/ITA/Prodotti+servizi+e+qualita/Cemento+Trasparente/>

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Caminhos da humanidade. Crescimento populacional e urbano. Meio ambiente.

Não obstante a recorrência de conflitos armados e a proliferação de epidemias em várias partes do mundo, condições climáticas e abundância de alimentos, dentre outras, conduziram a crescimento desmesurado da população da terra no último século (RIBEIRO, 2008, pg.05).

Nota-se que o homem vem atuando sobre o planeta ao longo do tempo, desatento, sem conferir importância especial ao possível exaurimento dos recursos naturais ou à relativa debilidade dos ecossistemas que o abrigam. O desequilíbrio ambiental, provocado pelo aquecimento global, decorrente da concentração de gases estufa na atmosfera, promotor de catástrofes em todo o mundo, influi na qualidade de vida do ser humano e ameaça sua espécie. Diante desse fato, o cuidado com o meio ambiente passa a constituir fator primordial nas decisões globais, em todas as áreas, visando a sustentabilidade. O uso eficiente dos recursos naturais não renováveis, de forma a retardar seu esgotamento e reduzir a poluição ambiental, é medida contributiva no sentido desse objetivo.

Sobredito desequilíbrio decorre do crescimento populacional e urbano acelerado, desordenado, com uso de tecnologias inconsistentes, causadoras de danos ambientais, não raro irreversíveis, tudo em função de demanda crescente de estrutura, na busca de suprir necessidades humanas, nas habitações, nos transportes, economia, indústrias, etc. e nos moldes de uma cultura de desperdícios. E assim, tem-se à vista, uma previsão do crescimento populacional, da ordem de quatro bilhões de habitantes, até meados do século XXI.

Construção Civil. Concreto. Sustentabilidade.

A demanda por novas construções vem aumentando consideravelmente em todo o planeta, em proporção a referido crescimento. Com isso, cresce também a demanda de concreto, indispensável na produção de edificações e infra-estruturas.

A indústria da construção civil causa grande impacto ambiental pela emissão de gases poluentes, consumo de recursos naturais não renováveis e produção de resíduos sólidos. A do concreto, que é a maior consumidora de recursos naturais do mundo - 11,5 bilhões de toneladas/ano, com expectativa de demanda de 18 bilhões ton/ano em 2050- lesa o meio ambiente na seguinte razão:

- Emissão de gases poluentes, principalmente o CO₂ e na queima do clínquer do cimento - 1 tonelada de clínquer de cimento Portland lança 1 tonelada de CO₂ na atmosfera, que equivale, ao ano, a 7% das emissões globais de CO₂ na atmosfera (1,5 bilhões de toneladas);
- Alto consumo de recursos naturais não renováveis - matéria-prima;
- Consumo energético nos processos - extração, fabricação, transporte e construção.

TABELA 3.1: Relação componente/consumo no concreto comum.

componente	consumo
12% cimento	1,5 bilhões de tonelada
8% água de amassamento	1 bilhão de água
80% agregado	9 bilhões de ton de areia e rochas
Total= 100%	Total= 11,5 bilhões de toneladas/ano

Fonte: (MEHTA P.K., MONTEIRO P.J.M., pg.658).

Apesar desse impacto, o concreto de cimento Portland é um material compatível com o meio ambiente, com grande capacidade de absorver resíduos sem destinação e, como visto, imprescindível para o homem. No Brasil, consumo de cimento nos últimos doze meses atingiram 51,6 milhões de toneladas (SNIC).

Daí, soluções têm sido propostas para redução do impacto ambiental causado pela indústria do concreto, dentre as quais, as seguintes:

- Redução do consumo de concreto;
- Prática da ecologia industrial, utilizando:
 - a. Redução do consumo de cimento no concreto;
 - b. Redução do clínquer no cimento;
 - c. Aproveitamento de resíduos industriais como matéria-prima (cimentos Portland com cinzas volantes de usinas termoelétricas ou com escória de alto forno oriundas da indústria do aço);
 - d. Utilização de resíduos de construção como matéria-prima (substituição de agregado miúdo e graúdo no concreto);
 - e. Utilização de água não potável como água de amassamento do concreto, observadas as exigências de qualidade requeridas;
 - f. Utilização de combustíveis alternativos para a queima do clínquer no lugar de combustíveis fósseis não renováveis .

Tais práticas reduzem o impacto ambiental à medida que diminuem a poluição gerada na extração, produção e transporte, a extração de matéria-prima da natureza - preservando recursos naturais não renováveis - o consumo de energia e o descarte de resíduos na natureza.

A redução de consumo de concreto que pode ser obtida a partir do sistema estrutural pretendido, já que neste toda a seção transversal da estrutura de concreto trabalha a compressão. Pode também ser obtida através do aumento da resistência à compressão com conseqüente redução das seções das estruturas e, portanto, do volume de concreto, como é o caso de estruturas feitas com o CAD. Segundo GLEIZE (2007, pg.1674), concretos mais resistentes e duráveis poderão ser produzidos a partir da adição de nanopartículas que atuarão em sua microestrutura. Como exemplo, cita os cimentos reforçados com fibras e armaduras de diâmetros nanométricos que previnem o aparecimento e propagação de fissuras.

O uso de adições minerais nos cimentos e concretos, além do já dito, reduz o consumo de clínquer e de cimento – redução de emissão de poluentes e de custos – aumentam a qualidade do concreto, através da melhoria de suas características técnicas reduzindo a porosidade, a permeabilidade e o calor de hidratação, reduzindo fissuras e, conseqüentemente, melhorando a durabilidade do concreto – resultado que pode ser observado nos concretos com altos teores de cinzas volantes e de escória de alto forno.

O uso de combustíveis alternativos, que emitem menos quantidade de CO₂ que os tradicionais, pelo coprocessamento de resíduos (pneus, óleos usados, plásticos, etc.) e/ou pelo uso de biomassa (casca de arroz, bagaço de cana etc.) dá destinação a esses rejeitos e economiza combustíveis não renováveis (óleo combustível, carvão mineral e coque de petróleo), segundo o SNIC. Entretanto, este é um processo que produz divergências de opinião, já que afeta a saúde humana a medida que o processo de incineração produz poluição como a emissão de POPs- substância tóxicas-, a volatilização dos metais pesados, etc.

Outro fator que merece destaque, é que concreto sustentável precisa ser durável e a durabilidade do concreto, como visto ao longo deste estudo, está diretamente relacionada à qualidade, que é alcançada através da adoção de cuidados especiais relativos aos materiais, à execução e à gestão da produção, desde a etapa de levantamento de dados para a elaboração do projeto. Esses cuidados influem na vida útil da construção. Um único deslize pode propiciar patologias, degradação da estrutura e comprometer sua qualidade e durabilidade.

Com relação aos materiais a serem utilizados no concreto, partindo do princípio de que o ideal é utilizar menos materiais, é importante para a sustentabilidade que se faça a especificação técnica correta, que se utilize aqueles de origem local, de baixa energia, recicláveis.

Para obtenção de construção civil sustentável, impõe-se, dentre outras atitudes:

- Reduzir os impactos (desperdícios, resíduos, etc.) causados ao meio ambiente pela respectiva indústria, da qual participa a indústria do concreto;
- Produzir construções mais duráveis – aumento da vida útil, redução de manutenção, de patologias, etc.;
- Produzir construções mais eficientes – economia de energia, emprego de energias renováveis, otimização do uso de água, etc.;
- Atuar preventivamente.

A relação durabilidade/qualidade, a exemplo do que ocorre nos concretos, também é aplicável às construções, de conseguinte, melhora da qualidade proporciona aumento de durabilidade, com conseqüente redução do impacto ambiental, podendo ser obtida através de melhoria da qualidade dos projetos, das práticas construtivas, da gestão. Além disso, contribuem para a durabilidade a prática de manutenção preventiva e o bom uso. A construção pensada, projetada, construída e mantida adequadamente e de acordo com o meio ambiente é, com certeza, menos passível de degradação e portanto, mais durável. A industrialização da construção civil, via observância de seus princípios, tais como racionalização, redução de desperdícios, obra limpa, qualidade, planejamento, redução de prazos, etc, resulta em ganho de sustentabilidade (pg.45). É na fase de projetos, onde são definidos 80% dos custos da obra, que se concebem valores sustentáveis de uma construção, da durabilidade à destinação ao fim da vida útil – flexibilidade, facilidade de revitalização e adaptação (*retrofit*) e de desmonte.

Para tanto, segundo estudiosos do assunto, faz-se necessária mudança de cultura na construção civil, com a participação de todos os envolvidos: pesquisadores, projetistas, construtores, docentes, empreendedores, consumidores, usuários, etc. Natural que de início haja maior comprometimento dos primeiros, responsáveis por avanços tecnológicos, especificações e projetos, execução e ensino, seguidos pelos demais, através da conscientização das vantagens sócio-econômicas e ambientais resultantes da elaboração de produtos de qualidade e duráveis, para que todos juntos direcionem a evolução dos

concretos/construções rumo a sustentabilidade, o que se dá no decorrer do tempo e na medida da formação, prática e evolução desta nova cultura, aplicada a todas as áreas do concreto e da construção civil. Soluções de excelência, em resposta às necessidades humanas, podem surgir através da integração entre ciências sociais, econômicas, ambientais, tecnologia e ensino ao redor de valores éticos e sustentáveis.

Concreto aparente. Soluções. Sustentabilidade.

Esta mudança de cultura já vem assinalando, como pode ser visto na evolução do concreto aparente nos últimos trinta anos, cujos avanços tecnológicos, com destaque para as inovações examinadas, agregam valores sustentáveis e estão em sintonia com princípios da nova cultura.

O concreto aparente, conforme visto, por natureza, reduz impactos, economiza energia, recursos naturais não renováveis e reduz resíduos.

O **concreto aparente**, ao dispensar revestimentos, preserva a natureza de extrações, de emissões de poluentes, de ser destino de resíduos nocivos, economiza tempo, trabalho e custos dispensados a projetos, execução, transporte, etc, relativos a esses materiais. Além disso, evita os problemas patológicos comuns, típicos dos revestimentos de fachadas, decorrentes das diferenças de comportamento entre os diversos materiais utilizados para revestimento (interfaces das múltiplas camadas: chapisco, emboço, argamassa e juntas de assentamento, revestimento, inserts, etc.) quando submetidos às variações de temperatura, umidade e demais agentes agressivos do meio ambiente.

Vimos que a melhor proteção que o **concreto aparente** pode ter é a sua própria excelência. Sobre a versatilidade do **concreto aparente**, suas características, deterioração, durabilidade, desempenhos, tipos e inovações também analisamos ao longo deste trabalho, o que nos habilita a reviver aqui, em breve resumo, suas vantagens e desvantagens (Tabela 3.2) .

TABELA 3.2: Principais vantagens do concreto aparente.

Tipo	Característica	Vantagens
Concreto Aparente em geral	dispensa revestimento (chapisco, emboço, argamassa, juntas, revestimento, inserts, etc.)	<p>Redução de extração de matérias-primas da natureza, preservando os recursos naturais não renováveis;</p> <p>Redução da poluição gerada na extração, produção e transporte e desmonte desses materiais;</p> <p>Redução de resíduos na obra e no desmonte;</p> <p>Redução de custos, prazos, procedimentos de projeto e de execução, mão-de-obra.</p> <p>Redução de cargas para estrutura</p> <p>Redução de procedimentos e gastos referentes às patologias ligadas aos revestimentos.</p>
	Diversos tipos de acabamento	Flexibilidade arquitetônica: possibilidade de infinitas soluções estéticas aliando a diversidade de acabamentos (cores e texturas) com a versatilidade de geometrias, de formas, de dimensões inerentes ao concreto.
	Procedimentos de qualidade específicos na escolha dos materiais e nos processos de execução.	Obtenção de melhores desempenhos técnicos (resistências mecânicas, às intempéries, etc.) e de durabilidade.
Branco	Cor branca	Redução do consumo energético dos edifícios com condicionamento de ar pelo alto nível de refletância/ redução da condutividade térmica.
Fotocatalítico	Autolimpante	Preserva a qualidade estética original relativa à aparência ao longo do tempo.
		Redução de trabalhos, materiais e custos de manutenção.
		Aumento da durabilidade das construções.
	Despoluente	Redução da poluição no meio ambiente; promove a purificação do ar.
Translúcido	Translucidez	Redução do consumo energético das construções com iluminação artificial.
		Recurso estético
		Recurso de iluminação

São desvantagens do concreto aparente:

- Ser passível de patologias que danifiquem sua superfície e estrutura, causando prejuízos estruturais e estéticos;
- Faltam técnicas eficientes para efetuar reparos da superfície exposta em estruturas de **concreto aparente**. As correções ficam visíveis, o que conduz a perda de desempenho estético;
- Alto custo pago pela qualidade dos materiais e da execução, pelos equipamentos, mão-de-obra especializada e técnica.

Assim posto, como os componentes e processos de produção do concreto e do cimento podem interferir nas características mecânicas, físicas e de durabilidade do **concreto aparente** (item 2.3.2), a ecologia industrial pode ser aplicada, desde que atenda aos requisitos do projeto. Conforme demonstrado, e exemplificando, na produção do cimento branco não se pode utilizar resíduos orgânicos deletérios como combustível para a queima do clínquer (pg.48). Também analisamos a importância da qualidade da água e dos agregados na qualidade do concreto. Quanto às adições e aditivos, vimos que adequadamente utilizados trazem benefícios, sendo recomendados, podendo, entretanto, interferir na cor do betão. De conseguinte, dada a diversificação do **concreto aparente**, **soluções** sustentáveis devem ser estudadas caso a caso, conforme o empreendimento, os requisitos, a disponibilidade dos materiais e o meio ambiente.

Convém ressaltar, que as vantagens do **concreto aparente** superam em muito suas desvantagens, que sem dúvida, constituem objeto de busca de tecnologia adequada à soluções requeridas, assim, por exemplo:

- Técnicas de reparação/restauro;
- Concretos com propriedade de proteção, a exemplo do autolimpante, que mantenham desempenho ao longo da vida útil;
- Concretos mais duráveis – resistentes à patologias;

- Concretos que agreguem novos valores e funções - como o despoluente e o translúcido – incrementando a característica econômica do concreto aparente, etc.

Assim, a tecnologia do **concreto aparente** e do concreto como um todo não cessa, prosseguindo sempre a cada necessidade, recorrente de novas soluções para as deficiências que vão se apresentando no processo de concepção e ao longo do tempo. E então, tipos especiais de concreto vão surgindo - concretos desenvolvidos de acordo com o meio ambiente onde estão inseridos, que resistem a meios agressivos, às alterações climáticas, que apresentam melhores trabalhabilidade, resistência, durabilidade, economia na utilização de materiais - para atender requisitos impostos pela prevalência da indispensável **sustentabilidade**, englobante de aspectos ambientais, tecnológicos, de custos, prazos, estéticos, logística, etc. , tudo em nome e em favor da humanidade, do seu conforto e qualidade de vida, e, em derradeira análise, da própria perpetuação da espécie.

4. CONCLUSÃO

Como visto, o concreto, embora tenha características que o permitem ser classificado como material sustentável, ainda possui sinais de insustentabilidade tendo, porém, a seu favor, a mudança de cultura imposta pela necessidade humana de sustentabilidade, aliada ao fato de que se constitui no material da construção civil mais utilizado na contemporaneidade, o que mobiliza pesquisadores, fabricantes, projetistas e construtores na busca de soluções adequadas, atitude que configura a evidência de extraordinário progresso tecnológico no pertinente.

O **concreto aparente** é uma solução que permite aliar técnica à arte, qualidade à economia, construção à sustentabilidade. Os avanços tecnológicos concernentes ao concreto aparente indicam um futuro promissor, apontando diversidade de opções, concretos de excelência em qualidade, desempenho, em sintonia com a preservação do meio ambiente e com a sustentabilidade.

Notável o estudo de suas diversas nuances – natural, branco, colorido, liso, com textura, autolimpante, translúcido, etc.. Excitante desvendar benefícios e às vezes problemas na sua aplicabilidade, que nos vêm à tona frente a sua intrigante química, assunto que embora técnico e árido no seu todo, culmina por entusiasmar seus decifradores, encantar arquitetos criadores dos mais arrojados e variados projetos, que se concretizam via extraordinário concreto, nesse estudo, com destaque no **concreto aparente**, solução arquitetônica para fachadas, substituindo o emprego de revestimentos, com as vantagens já descritas ao longo desse trabalho, de onde se colhe segurança, utilidade, conforto, beleza, para deleite e qualidade de vida do ser humano.

De resto, conclui-se de tudo o que foi visto, ser de razão essencial, que engenheiros, arquitetos, construtores e demais envolvidos no sistema em causa, não percam de vista a evolução das técnicas de produção e aplicação crescente do **concreto aparente** mundo afora, fenômeno que se processa, como é sabido, em ritmo acelerado, para que então, se possa garantir sua efetiva **sustentabilidade**.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOLO, F. R. **Construções de Concreto: manual de práticas para controle e execução.** São Paulo: Editora Pini, 1984. 1v. 738 p.

ARQ web – Portal de arquitetura, construção, desenho e decoração. www.arcoweb.com.br/, pesquisa no site.

BEELDENS, A. **An environmental friendly solution for air purification and self-cleaning effect: the application of TIO₂ as photocatalyst in concrete.** Belgian Road Research Centre , Bruxelas, Bélgica, 2006, 8p. Disponível em: http://www.brrc.be/pdf/tra/tra_beeldens_txt.pdf. Acesso em janeiro 2010.

BUONO, V. Dal, **Pietre Artificiali -Trasparente / Traslucido.** Blog_Architetturadi Pietra Itália, abril de 2006, Disponível em: <http://www.architetturadi Pietra.it/blog/stampa.php?idnotizia=186> Acesso em 23/01/10-18:51.

CONCRETO: Ensino , pesquisa e Realizações, Vol.1 , Ed.Geraldo Cechella Isaia - São Paulo: IBRACON, 2005. 1v.

ANDRADE T. CONCRETO: Ensino , pesquisa e Realizações, Vol.1 - **Tópicos sobre Durabilidade do Concreto.** Ed.Geraldo Cechella Isaia - São Paulo: IBRACON, 2005. 1v.

GUIMARÃES, A.T.C. CONCRETO: Ensino , pesquisa e Realizações, Vol.1 - **Propriedades do Concreto Fresco.** Ed.Geraldo Cechella Isaia - São Paulo: IBRACON, 2005. 1v.

HELENE, P. CONCRETO: Ensino , pesquisa e Realizações, Vol.1 - **Dosagem dos concretos de cimento portland.** Ed.Geraldo Cechella Isaia - São Paulo: IBRACON, 2005. 1v.

ISAIA C. G. CONCRETO: Ensino , pesquisa e Realizações, Vol.1 - **Concreto: da era Clássica à Contemporânea.** Ed.Geraldo Cechella Isaia - São Paulo: IBRACON, 2005. 1v.

- ISAIA C. G. CONCRETO: Ensino , pesquisa e Realizações, Vol.1 - **Retrospectiva do Concreto no Brasil**. Ed.Geraldo Cechella Isaia- São Paulo: IBRACON, 2005. 1v.
- LIMA M. G. CONCRETO: Ensino , pesquisa e Realizações, Vol.1 - **Ação do meio Ambiente sobre as Estruturas de Concreto**. Ed.Geraldo Cechella Isaia- São Paulo: IBRACON, 2005. 1v.
- CONCRETO: Ensino , pesquisa e Realizações, Vol.2** , Ed.Geraldo Cechella Isaia- São Paulo: IBRACON, 2005. 2v.
- ALMEIDA I. R.; SILVA A.J.C. CONCRETO: Ensino , pesquisa e Realizações, Vol.2 - **Concretos de Alto Desempenho**. Ed.Geraldo Cechella Isaia - São Paulo: IBRACON, 2005. 2v.
- ANDRADE, J.J.O. CONCRETO: Ensino , pesquisa e Realizações, Vol.2 - **Vida Útil das Estruturas de Concreto**. Ed.Geraldo Cechella Isaia - São Paulo: IBRACON, 2005. 2v.
- ANDRADE, T.; SILVA A.J.C. CONCRETO: Ensino , pesquisa e Realizações, Vol.2 - **Patologia das Estruturas**. Ed.Geraldo Cechella Isaia- São Paulo: IBRACON, 2005. 2v.
- BENINI, H. CONCRETO: Ensino , pesquisa e Realizações, Vol.2 - **Concreto Arquitetônico e Decorativo**. Ed.Geraldo Cechella Isaia - São Paulo: IBRACON, 2005. 2v.
- KIRCHHEIM, A. P.; PASSUELO, A.; DAL MOLIN, D.C.C.; SILVA FILHO, L. C. P. CONCRETO: Ensino , pesquisa e Realizações, Vol.2 - **Concreto Branco**. Ed.Geraldo Cechella Isaia - São Paulo: IBRACON, 2005. 2v.
- LEVY, S. CONCRETO: Ensino , pesquisa e Realizações, Vol.2 - **Sustentabilidade na Construção Civil: A Contribuição do Concreto**. Ed.Geraldo Cechella Isaia - São Paulo: IBRACON, 2005. 2v.
- REPETTE, W. L. CONCRETO: Ensino , pesquisa e Realizações, Vol.2 - **Concretos de Última Geração: Presente e Futuro**. Ed.Geraldo Cechella Isaia - São Paulo: IBRACON, 2005. 2v.

TERZIAN, P. CONCRETO: Ensino , pesquisa e Realizações, Vol.2 - **Concreto para estruturas Pré-fabricadas**. Ed.Geraldo Cechella Isaia - São Paulo: IBRACON, 2005. 2v.

INFOCEMENTS, www.infociments.fr, pesquisa no site:

___ CIMENTÓN, **Histoire du béton: naissance et développement, 1818-1970**, Cahier des modules de Conférence pour les Écoles d'architecture - COLLECTION TECHNIQUE CIMENTÓN, Référence : B90A, França. Editor : Cimentón, janeiro 2009. Disponível em: <http://www.infociments.fr/publications/batiment/collection-technique-cimenton/ct-b90a>. Acesso em janeiro 2010.

___ BETOCIB, **Les bétons apparents- Prescriptions techniques De la mise en oeuvre à la protection, l'entretien, la réparation** COLLECTION TECHNIQUE BETOCIB. Edição : Bétocib março 2009 Disponível em: <http://www.infociments.fr/publications/batiment/collection-technique-betocib/ctb-e80>. Acesso em janeiro 2010. 146 p. Acesso em janeiro 2010.

ITALCEMENTI GROUP, **Site oficial**, Disponível em: <http://www.italcementi.it/ITA>, Italcementi Group Itália. Acesso em janeiro 2010.

___ CALCIA Ciments, Disponível em: <http://www.ciments-calcia.fr/FR>, Ciments Calcia ,Italcementi Group França. Pesquisa no site. Acesso em janeiro 2010.

___ CALCIA Ciments, **Dossier Technique TX Active ®** , Ciments Calcia. Disponível em:<http://www.ciments-calcia.fr/NR/rdonlyres/72EA4335-A03C-4ED9-865A-A3150DBE95FF/0/DossierTechniqueTX.pdf> .Acesso em fevereiro 2010.

___ ESSROC, Disponível em: <http://www.essroc.com/> Essroc, Italcementi Group Estados Unidos da América. Pesquisa no site.

___ ITALCEMENTI Group, **Principio attivo fotocatalitico TX Active®- APPROFONDIMENTO TECNICO, 2009**. Italcementi Group. Disponível em: <http://www.italcementi.it/NR/rdonlyres/C1C6D010-168C-4694-B7D7-4C3B280A4B85/0/TXactiveapprofondimentonov2009.pdf>. Acesso em fevereiro 2010.

ITALCEMENTI, **Use of Photocatalytic Preparations of Colloidal Titanium Dioxide for Preserving the Original Appearance of Cementitious Products. United States**

Patent – Nº US 6,824,826 B1. Patente. Nov.30,2004. Disponível em:
<http://www.freepatentsonline.com/6824826.html>
Acesso em fevereiro 2010.

LITRACON , **Light Transmitting Concreto**, Site litracon. www.litracon.hu

LOSONCZI, A. **Building Block Comprising Light Transmitting Fibres and a Method for Producing the same**, United States Patent Application Publication, nº US 2005/0183372 A1. Patente. 25/agosto/2005. Disponível em:
<http://v3.espacenet.com/publicationDetails/description?CC=US&NR=2005183372A1&KC=A1&FT=D&date=20050825&DB=&locale> Acesso em fevereiro 2010.

LOSONCZI, A. , **Translucent Building Block and a Method for Manufacturing the same**, United States Patent Application Publication, nº WO2009007765, Patente.15/01/2009. Disponível em:
<http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?WO=2009007765&IA=HU2008000084&DISPLAY=DESC> . Acesso em fevereiro 2010.

MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais. ed. G. C. Isaia. – São Paulo: IBRACON, 2007.2v.

GLEIZE, P.J.P. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais - Nanotecnologia e Materiais de Construção Civil**. ed. G. C. Isaia. – São Paulo: IBRACON, 2007.2v.

_____, P.J.P.; JOHN, V.M. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais - Materiais de Construção Civil: Perspectivas e desafios futuros.**, pg.1687. ed. G. C. Isaia. – São Paulo: IBRACON, 2007. 2v.

HELENE P. e ANDRADE T. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais - Concreto de Cimento Portland**. ed. G. C. Isaia. – São Paulo: IBRACON, 2007.2v.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J.M. **CONCRETO: Microestrutura, Propriedades e Materiais**. 1.ed. São Paulo: Editora IBRACON, 2008. 1v. 674p.

NAKAMURA, J. **Concreto: Todas as cores do concreto**, Revista Técnica ed.nº81, dez/2003. Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/81/artigo32639-1.asp> , Acesso em: 24 setembro 2009.

NAWKAW - <http://www.nawkaw.com/>, pesquisa no site.

NOGUEIRA, R.F.P. ; JARDIM, W. F. **A FOTOCATÁLISE HETEROGÊNEA E SUA APLICAÇÃO AMBIENTAL**, Instituto de Química - UNICAMP - CP 6154 - 13083-970 - Campinas - SPRecebido em 10/6/96; aceito em 4/7/97. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v21n1/3471.pdf>, em 01/02/2010, às12:54h.

NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 6118:2003 - Projeto de estruturas de concreto -Página 15.

RECKLI - <http://www.reckli.net/>, pesquisa no site.

REVISTA TÉCNICA, www.revistatechne.com.br, pesquisa no site.

RIBEIRO, H. M., **Comércio, Meio Ambiente e solução de controvérsias: A Evolução da Jurisprudência do Sistema Multilateral Sobre os Artigos XX (B) I XX (G) do GATT e sua Potencial Incidência Sobre Interesses Brasileiros**, Ministério das Relações Exteriores, Instituto Rio Branco, 53 CAE, Brasília – DF, Janeiro 2008.

RIVERA, A. F. **Estruturas de concreto arquitetônico : projeto, execução e recebimento**, 2007. Disponível em: http://www.ipt.br/externo.php?url=http://aleph.ipt.br/F_22/01/10-20:19 Acesso em fevereiro 2010.

ROSSO, S., **Concreto aparente - Acabamento final**, Revista Técnica ago/2009. Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/125/artigo59010-1.asp>, Acesso em: 24 setembro 2009.

SILVA, Paulo Fernando A. **Durabilidade das estruturas de concreto aparente em atmosfera urbana**. São Paulo: PINI, 1995. 152p.

SNIC . **Sindicato Nacional da Indústria do Cimento** <http://www.snic.org.br/> Acesso em fevereiro 2010.

TÉCHNE, **O uso da fotocatalise em materiais autolimpantes, Revista Técnica**

Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/141/imprime119365.asp> Acesso em fevereiro 2010.

TÉCHNE **Concreto sustentável - Revista Técnica entrevista Kumar Mehta** Por Rafael

Frank Tradução: Cristina Borba Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/139/concreto-sustentavel-105373-1.asp> Acesso em fevereiro 2010.

VITRUVIUS – Portal de Arquitetura, www.vitruvius.com.br/, pesquisa no site.

WIKIPÉDIA, Enciclopédia, pt.wikipedia.org/, pesquisa no site.

ZEIN, Ruth Verde. **Brutalismo, sobre sua definição (ou, de como um rótulo**

superficial é, por isso mesmo, adequado) Arquitectos, n. 084.01. São Paulo, Portal Vitruvius, maio 2007.

http://www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq084/arq084_00.asp ; **“Breve introdução à arquitetura paulista brutalista”**. Arquitectos, n. 069.01. São Paulo, Portal Vitruvius, fev. 2006 <www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq069/arq069_01.asp>; e **“A década ausente. É preciso reconhecer a arquitetura brasileira dos anos 1960-70”**. Arquitectos, n. 076.02. São Paulo, Portal Vitruvius, set. 2006 <www.vitruvius.com.br/arquitextos/arq076/arq076_02.asp>. Acesso em janeiro 2010.

Zhi Zhou,Z.; Ou,G.;Hang, Y.;Chen, G.; Ou,J., **Research and Development of Plastic**

Optical Fiber Based Smart Transparent Concrete, 2009. Disponível em: lib.semi.ac.cn:8080/tsh/dzzy/wsqr/SPIE/vol7293/72930F.pdf, Acesso em:19/01/2010