

CARLOS AMADO BRITZ

**AVALIAÇÃO DE PILARES DE CONCRETO ARMADO COLORIDO DE
ALTA RESISTÊNCIA, SUBMETIDOS A ELEVADAS TEMPERATURAS**

**São Paulo
2011**

CARLOS AMADO BRITZ

**AVALIAÇÃO DE PILARES DE CONCRETO ARMADO COLORIDO DE
ALTA RESISTÊNCIA, SUBMETIDOS A ELEVADAS TEMPERATURAS**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Engenharia

**São Paulo
2011**

CARLOS AMADO BRITZ

**AVALIAÇÃO DE PILARES DE CONCRETO ARMADO COLORIDO DE
ALTA RESISTÊNCIA, SUBMETIDOS A ELEVADAS TEMPERATURAS**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia de Construção Civil e Urbana

Orientador: Prof. Titular
Paulo Helene

São Paulo
2011

DEDICATÓRIA

Ao meu irmão gêmeo, Alexandre Amado Britez, o ser humano mais correto, justo e bondoso que conheci na minha vida. O meu companheiro e melhor amigo.

AGRADECIMENTOS

Certamente, Deus esteve presente em muitos momentos ao longo de minha vida e posso afirmar, seguramente, que Ele me ajudou muito nessa jornada do doutoramento, principalmente durante as etapas mais complexas do estudo experimental desenvolvido. *Portanto, por toda a ajuda infalível e superação dos obstáculos, Obrigado Pai!*

Agradeço aos meus pais Carlos Nicolá Britez e Claudete Perroni Britez que se doaram para tudo, tudo mesmo, para fornecer uma das maiores oportunidades que pude ter na vida: a de estudar e de possuir uma formação. Reconheço que meus pais dedicaram as suas vidas em prol da felicidade de seus filhos e, portanto, espero do fundo do meu coração, que a realização do doutoramento sirva como parte da recompensa pelo esforço irrefutável deles. *Mooour e Britão, valeu!!! Amo vocês!*

Agradeço ao meu irmão gêmeo Alexandre Amado Britez, meu companheiro, melhor amigo, a pessoa responsável por me fazer acreditar e apostar no programa de pós-graduação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Foi ele quem me encorajou a buscar uma oportunidade na área de Engenharia de Construção Civil e Urbana (Materiais de Construção Civil). Lembro até hoje do dia que ele me ligou e me incentivou a fazer a inscrição como aluno ouvinte do programa, num momento muito complicado da minha vida. *Shan, muito obrigado, você é um exemplo!*

Agradeço à minha noiva Barbara Aparecida da Silva Spósito, que sempre esteve ao meu lado e compreendeu minha abdicação durante parte do período de desenvolvimento da tese. A Barbara sempre se doou, incentivou e contribuiu em tudo aquilo que estava ao seu alcance. Uma pessoa maravilhosa. *Babinha te amo muito! Você é merecedora de muito sucesso e felicidade!*

Agradeço muito ao meu orientador, o Prof. Dr. Paulo Helene pela confiança e, principalmente, pela oportunidade fornecida em desenvolver uma pesquisa de tal amplitude e responsabilidade. O Prof. Dr. Paulo Helene acreditou desde o começo no sucesso da pesquisa e esteve sempre ao meu lado, ajudando em tudo aquilo que foi necessário, inclusive, e muitas vezes, colocando seu nome à frente, se arriscando

e lutando com todas as forças para o alcance do objetivo final. Através de seu intermédio e incondicional dedicação, obteve-se um significativo patrocínio para a efetiva realização do programa experimental. *Professor, reconheço tudo aquilo que o senhor fez por mim. Muito Obrigado pela orientação, pela confiança e, principalmente, pela oportunidade!*

Agradeço a minha primeira orientadora, ainda no programa de mestrado, a Prof^ª. Dra. Silvia Maria de Souza Selmo, que me ajudou nos primeiros passos como pesquisador e me concedeu o aval para prosseguir no programa, sob os cuidados do Prof. Dr. Paulo Helene. *Professora, muito obrigado!*

Ao meu amigo arquiteto Juan Gadea, que sempre quando precisei me atendeu prontamente. O Juan é um verdadeiro exemplo de vida e de entusiasmo. Um dos momentos mais marcantes foi quando ele se prontificou em contribuir na tradução do artigo oficial desta tese, o qual foi submetido ao *American Concrete Institute (ACI)*, em um exaustivo e meticuloso trabalho de mais de 30 horas. Um detalhe: eu nunca vi o Juan triste ou reclamando de alguma coisa. *Juan, você é um exemplo de vida, um amigão!*

Agradeço ao Eng. M.Sc. Antonio Fernando Berto e a toda equipe técnica do Laboratório de Segurança ao Fogo do IPT (Carlos Roberto Metzker de Oliveira, Írio Brogni e Micarla R. Soares). Planejei com o Eng. Berto por mais de dois anos o programa experimental. Durante todo esse período sempre fui bem recebido e também muito bem atendido. O Berto sabe muito de experimentos de simulação de incêndio, tem vasto conhecimento na área de ensaios e forneceu ideias fundamentais para que o programa experimental desta tese se tornasse viável. *Berto, muito obrigado por tudo! Você sabe o quanto sua participação foi importante!*

O que dizer do Pedro Carlos Bilesky (vulgo Baretta, com todo respeito) do IPT? Faltam palavras... O Baretta sempre esteve presente em todas as etapas. Ele realizou praticamente todos os ensaios de caracterização das propriedades residuais do concreto, participou ativamente da elaboração de todo o plano experimental, colaborou com a guarda dos pilares e abraçou uma série infinita de compromissos. Esteve ativamente presente no dia do ensaio principal de simulação de incêndio. Reconheço que ele realmente abraçou de coração a pesquisa. Foi o Baretta quem

traçou o plano de ensaios em conjunto comigo e com o Prof. Dr. Paulo Helene e resolveu todos os embaraços pertinentes. O Pedro dedicou alguns anos no projeto e merece muito mais do que estes singelos agradecimentos. *Pedro, você merece toda a sorte na vida e que Deus te abençoe. Obrigadíssimo!*

Agradeço ao pessoal da Ekipe-C Serviços de Corte, Perfuração e Demolição Controlada Ltda., nas pessoas da Gabriela Batista dos Santos, do Paulo Chiari e, principalmente do Federico Del Villar. Destaco que quando nem havia pesquisa, somente o rascunho de um planejamento experimental, tomei a iniciativa de conversar com o pessoal da Ekipe-C para apresentar nossas intenções, imediatamente, o Federico, o Paulo e a Gabriela apoiaram a ideia em nome da Ekipe-C, e criaram uma broca especial para perfuração do concreto e introdução dos termopares. Posteriormente também realizaram o corte especial na base do pilar de concreto de alta resistência. Um detalhe: a Ekipe-C fez tudo isso por conta própria e nunca pediu nada em troca. *Federico, Paulo e Gabriela, o gesto de vocês foi sublime. Agradeço do fundo do meu coração essa atitude. Realmente, esse foi o primeiro passo para que todo o estudo experimental se concretizasse. Vocês sabem muito bem disso. Muito Obrigado!*

Agradeço ao meu amigo Dr. Marcelo Araújo da Silva, em nome da RM Soluções Engenharia, pela confiança e apoio irrestrito durante todo o estudo experimental. O Marcelo abriu as portas de sua serralheria para execução das peças utilizadas no programa experimental, inclusive doando toda a matéria prima, colaborou na realização dos cálculos necessários para içamento e manuseio do pilar protótipo e ainda participou ativamente com opiniões relevantes para a realização do ensaio. O Marcelo foi meu professor na graduação e foi quem me recomendou o programa de pós-graduação da Universidade de São Paulo. O Marcelo lutou pelo meu primeiro ingresso na USP (na área de cálculo), através de incentivos, aulas particulares, cartas de recomendação, entre outros gestos de suma importância. *Marcelo, muito obrigado pela oportunidade. Reconheço tudo que você contribuiu na minha vida e espero que a realização desta tese seja parte compensadora por todo o seu esforço, pois me dediquei ao máximo para fazer jus ao mérito do seu investimento e confiança. Muito Obrigado!*

Agradeço ao meu amigo Dr. Alex Alves Bandeira que, também, não mediu esforços para o meu primeiro ingresso no programa de pós-graduação da USP (na área de cálculo), através de incentivos, aulas particulares, cartas de recomendação, entre outros gestos de suma importância. *Alex, muito obrigado por tudo. Reconheço tudo que você contribuiu na minha vida e espero que a realização desta tese seja parte compensadora por todo o seu esforço, pois me dediquei ao máximo para fazer jus ao mérito do seu investimento e confiança. Muito Obrigado!*

Agradeço à Prof^a. Dra. Lilza Mara Boschesi Mazuqui, bem como ao Prof. Dr. Salomon Mony Levy, pelos incentivos em realizar uma pós-graduação no programa da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, quando fui aluno da primeira turma do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Nove de Julho, atual UNINOVE. *Professores, muito obrigado!*

Agradeço profundamente a todos os patrocinadores. Esta pesquisa somente se tornou possível graças ao apoio de um elenco de patrocinadores que acreditaram no projeto e investiram recursos substanciais necessários para realização de todo o estudo experimental, principalmente, relacionado ao ensaio principal de simulação de incêndio e aos ensaios residuais. Agradeço especialmente ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) pelo apoio nos ensaios de simulação de incêndio e principalmente nos ensaios do concreto e aço; às Associações e institutos nacionais ABCP (Associação Brasileira de Cimento *Portland*), ABECE (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural), ABESC (Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Concretagem) e IBTS (Instituto Brasileiro de Telas Soldadas) pelo apoio profissional e financeiro; bem como às Empresas BASF S. A., ENGEMIX S. A., TECNUM Construtora, GRACE Brasil Ltda., FRANÇA & ASSOCIADOS Engenharia S/C Ltda. e PhD Engenharia Ltda., pelo fornecimento de materiais, equipamentos especiais, mão de obra e suporte financeiro para o desenvolvimento e a realização de todo o programa experimental. *Pessoal, muito obrigado!*

Agradeço ao meu grande amigo Eng. José Eduardo Granato da empresa Viapol Ltda., pelo fornecimento sem custo de materiais especiais que foram utilizados no programa experimental, os quais não estavam previstos no planejamento inicial. O Granato nunca hesitou em colaborar, sempre apoiou e se interessou pelo

andamento da pesquisa. Um grande amigo. *Granato, muito obrigado! A sua ajuda foi fundamental e na hora certa!*

Agradeço as minhas queridas estagiárias (hoje já arquitetas formadas) Luciane Kawabata e Cássia Batista Guerra pela contribuição na elaboração dos desenhos preliminares, na discussão do texto, nas opiniões e detalhes gerais de configuração. *Meninas, adoro vocês e desejo muito sucesso na trajetória profissional e pessoal!*

Agradeço a engenheira Juliana da Silva Antunes pela colaboração durante a elaboração deste trabalho, inclusive visitando comigo a cidade de São Carlos, interior de São Paulo, para encontro com o ilustre pesquisador Venkatesh Kodur, contribuindo na tradução simultânea durante as discussões técnicas. Também, em maio de 2010, contribuiu ativamente nos bastidores do evento de qualificação do doutorado. *Juliana, muito obrigado! Você é muito competente!*

Agradeço muito a minha amiga arquiteta Fabíola Margoth Zambrano Figueroa pela elaboração da arte final da tese e na elaboração dos desenhos autoexplicativos do estudo experimental. *Fabíola, agradeço a dedicação e o excelente trabalho desenvolvido!*

Agradeço à equipe da PhD Engenharia pela contribuição na pesquisa; à gerente administrativa Sra. Anna Candida do Lago Helene por sempre ter comparecido nos eventos relacionados ao programa de doutorado e sempre ter lido os textos elaborados, incentivando e apontando melhorias; ao engenheiro Douglas de Andreza Couto pelas simulações computacionais e orientações pertinentes de cálculo e dimensionamento estrutural; às minhas secretárias Maria de Fátima Simão da Silva, Jaqueline Yumi Ono, Alinne Paulo dos Santos e especialmente Mayrá Holl Loughney, pelo suporte durante a elaboração do texto, contribuição no levantamento, organização e separação dos artigos técnicos, realização de cópias, emissão de mensagens para instituições e, ao mais importante, por acreditarem profundamente no projeto; ao operário Antonio Reginaldo Bezerra Amâncio pelos serviços prestados pertinentes aos preparativos necessários para o ensaio de simulação de incêndio e, em especial, agradeço muito ao encarregado de obra Eduardo Santos Florêncio, que sempre esteve ao meu lado desde o começo, participando de tudo, exatamente de tudo. Ele trabalhou ativamente na execução

dos aparatos para realização dos ensaios, preparou as amostras, enfim, fez muita coisa pela pesquisa. O Eduardo entrou com o coração. Gesto formidável. *Pessoal da PhD, muito obrigado por tudo!*

Agradeço a equipe da ABCP, principalmente ao Eng. Hugo C. Rodrigues Filho que acreditou na pesquisa e foi um dos primeiros a apoiar o projeto, liderando o grupo de patrocinadores. Em especial, agradeço ao coordenador e chefe dos laboratórios da ABCP, geólogo Arnaldo Battagin, e ao geólogo Marcelo Pecchio pelos ensaios residuais realizados, referentes às caracterizações mineralógicas e às análises térmicas. Com particular atenção ao geólogo Marcelo Pecchio que despendeu muito tempo ajudando, sanando minhas dúvidas, interpretando e discutindo os resultados dos ensaios. Um profissional muito competente e solícito que participou bastante na fase final do projeto. *Pessoal da ABCP, muito obrigado!*

Agradeço ao pesquisador físico Marcelo de Mello Aquilino do Laboratório de Segurança Ambiental e Sustentabilidade dos Edifícios do IPT, que aceitou o desafio de realizar, em condição de ineditismo, os ensaios de caracterização das propriedades térmicas do concreto de alta resistência. Um profissional muito capacitado e qualificado nessa área. *Marcelo, um grande abraço e sucesso!*

Agradeço ao pesquisador Dr. João Batista Ferreira Neto do Laboratório de Metalurgia e Materiais Cerâmicos do IPT que despendeu seu tempo para me atender e sanar dúvidas fundamentais na área de redução do óxido de ferro, indicando bibliografias e orientando a redação técnica pertinente. *João Batista, muito obrigado!*

Agradeço à Prof.^a Dra. Maria Alba Cincotto, ao Prof. Dr. Claudio Sbrighi Neto e ao Prof. Dr. Selmo Chapira Kuperman pelas dúvidas cruciais sanadas, pelas dicas, pelas orientações, enfim, pelas horas despendidas me ajudando a compreender ainda mais os fenômenos envolvidos no programa experimental. Professores competentíssimos. *Professores, muito obrigado!*

Agradeço aos professores da banca examinadora de qualificação de mestrado e de doutorado, a Prof.^a Dra. Ana Elisabete Paganelli Guimarães de Ávila Jacintho e o Prof. Dr. Ricardo Leopoldo e Silva França pela confiança, pelas orientações e dicas

Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

