

Comportamento das Bombas Convencionais Ante os Modernos Materiais de Construção Civil: Necessidade de Ensaios.

FAUSTO BATISTA MENDONÇA

COMGAR SHIS QI 5 – Área Especial 12, Lago Sul, Brasília, DF – Cep: 71615-450.

Resumo — Os materiais de construção, principalmente o concreto, constituem os materiais dos alvos de ataques aéreos. Conhecer suas origens, seus aperfeiçoamentos e fraquezas é um fator importante para começar a estudar o emprego adequado do armamento aéreo. A associação de materiais diferentes traz consigo novos desafios para o planejamento de ataque, pois o comportamento dos alvos poderá ser um pouco diferente do esperado.

Palavras-chaves — Concreto armado, alvos, ataque aéreo, armamento aéreo.

I. INTRODUÇÃO

O sucesso de uma campanha aérea está associado a diversos fatores, não só operacionais, mas também nos planejamentos. O planejamento do emprego do armamento aéreo é um fator de relevante contribuição para o sucesso das missões ofensivas.

Conhecer o poder de destruição do artefato é de suma importância para um emprego adequado, em contrapartida o conhecimento da resistência da estrutura a ser afetada também é importante. Pois o sucesso da missão está intimamente ligado ao alcance das metas estabelecidas pelo comando superior do Teatro de Operações, que poderá ser destruir, interditar, isolar ou afetar o alvo.

As modernas tecnologias de construção civil não podem ser esquecidas no momento em que a análise sobre a resistência do alvo está sendo realizada. E ainda, o poder destrutivo do artefato utilizado também deve ser levado em consideração.

II. BREVE HISTÓRICO

Com a finalidade de se proteger de agentes externos, o homem procura utilizar os materiais encontrados na natureza desde as civilizações mais antigas. Existem relatos de utilização de construções de pedras muito antes da era cristã, em torno de 8000 a 4000 a.C. Com o passar dos anos o homem começa a observar que ao misturar determinados materiais encontrados na natureza é possível obter-se elementos estruturais com maior resistência e trabalhabilidade. Os egípcios e os gregos utilizaram em suas construções diversos tipos de materiais estruturais como a cal e até mesmo um tipo de cimento. Esses materiais são conhecidos como aglomerantes. Os romanos utilizaram materiais aglomerantes, à base de cal, misturado com uma cinza vulcânica conhecida como pozolana. Estes materiais, na presença da água, endureciam e possuíam certa resistência. De posse desta poderosa mistura conseguiram construir grandes obras arquitetônicas como aquedutos, muros de considerável resistência aos ataques de inimigos, além de fundações de concreto ciclópico, que é o caso das fundações do Coliseu. Não podendo deixar de ser mencionada, a

construção de abóbadas de concreto e arcos que foi também um marco na arquitetura romana.

Porém, o primeiro relato da utilização de barras de ferro, associado a um material rochoso, data de 1770 [1], onde na construção da Igreja de Santa Genoveva, hoje Pantheon em Paris, foram executadas verdadeiras vigas de concreto armado, nas quais as barras de aço eram enfiadas em furos feitos de forma artesanal na zona de tração destas vigas. Após isto, os estudos sobre o comportamento dos esforços no interior das peças estruturais ganharam um grande impulso e vários experimentos começaram a surgir envolvendo também a verificação de cimentos mais resistentes e confiáveis. Estes cimentos eram obtidos através de alguns tipos de rocha calcária encontrados em lugares específicos. Em 1824 é descoberto o cimento Portland na Inglaterra, através da queima de calcário e argila finamente moídos. Porém o cimento Portland de hoje certamente apresenta uma qualidade superior, pois naquela época não se possuía tecnologia para atingir temperaturas que são utilizadas nos fornos modernos na obtenção do clínquer, material básico para a fabricação do cimento. Entretanto por volta de 1845 algumas empresas na Inglaterra afirmavam ter conseguido queimar a mistura a ponto de obter o clínquer.

O primeiro registro de utilização de cimento armado (denominação do concreto armado até por volta de 1920) data de 1867, onde Monier, um jardineiro, colocava uma malha de aço na argamassa para a fabricação dos seus vasos.

III. NOVOS MATERIAIS E TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO

Na primeira década do século XX já existem relatos de prédios de 16 andares em concreto armado. Começam a surgir as normas de construções em concreto na Europa e nos Estados Unidos [1], porém ainda havia algumas dúvidas sobre a sua durabilidade, e só o tempo poderia provar isso. Mas as primeiras demolições comprovaram a capacidade de proteção das barras de aço, pois não havia corrosão estabelecida nas barras inseridas no interior das peças de concreto. Até a Segunda Grande Guerra foi utilizado apenas o concreto armado, o concreto protendido veio a surgir após o término da guerra.

O comportamento de uma viga bi-apoiada de concreto armado é descrito a seguir.

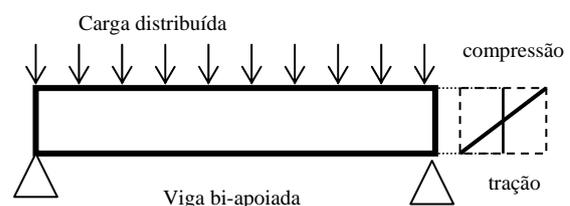


Fig.1. Tensões atuantes em uma viga bi-apoiada carregada.

A pasta de cimento adicionada de agregados consegue atingir uma boa resistência à compressão [2], porém não suporta valores de tração de mesma magnitude. O aço consegue suportar esforços de tração com valores compatíveis aos que surgem nas peças estruturais utilizadas pelo homem.

Na “Fig. 1” observa-se o comportamento do diagrama de tensões atuantes em uma viga bi-apoiada. Nas fibras inferiores surgem esforços de tração, sendo necessária a existência de barras de aço na parte inferior da viga, partindo de um apoio até o outro. Já nas fibras superiores como o esforço é de compressão o concreto suportaria sozinho este esforço sem romper. Esta visão é básica para o pré-dimensionamento de uma peça de concreto armado, atualmente existem diversos outros fatores a serem considerados que não vem a o caso neste artigo. O equilíbrio gerado pelas forças que atuam na peça de concreto a mantém estática, porém se os esforços que equilibram a estrutura vierem a faltar, ou a serem desestabilizados, poderá ocorrer o colapso total ou parcial da edificação.

Os modernos materiais de construção contam com processos muito sofisticados de obtenção e rigorosos controles de qualidade, como ensaios normalizados. O que traz uma segurança muito maior para o projetista e para os executores das obras de engenharia.

A técnica da protensão foi largamente empregada na reconstrução da Europa no período pós-segunda guerra, principalmente nas pontes que foram destruídas por ataques aéreos. A diferença básica da armadura protendida para a armada simples é que a protendida recebe uma tensão antes de ser carregada, comprimindo as seções da peça que estarão sujeitas a um esforço de tração. Quando a carga de utilização é aplicada, as forças tendem a se equilibrar. Na “Fig. 2” observa-se um diagrama básico das forças que atuam em uma peça de concreto protendido em utilização.



Fig.2. Equilíbrio de esforços em uma peça protendida bi-apoiada.

A utilização de aditivos superplastificantes e fluidificantes, na década de 80 [1], trouxe uma liberdade maior aos arquitetos e engenheiros para ousarem nas suas concepções estruturais. Aditivos incorporadores de ar, que eliminam os vazios no interior das peças de concreto [2], são inseridos nas construções na mesma época, isso vem trazer para os elementos estruturais de concreto um ganho de resistência significativo. Para as bombas vencerem estas peças precisarão de mais energia cinética e de possuir uma resistência à ruptura do invólucro que as permitam ultrapassar concretos com índices de vazios muito baixos.

A técnica de pré-moldagem das peças, onde os elementos estruturais não são construídos *in loco*, mas em um canteiro à parte e posteriormente transportados e locados conforme o projeto facilita o poder de destruição das bombas de emprego geral. Como a pré-moldagem encaixa as peças em suas posições, de forma que todas as forças estão em equilíbrio, mantendo a edificação estática, o efeito sopro de um artefato

sendo detonado em pontos vitais de concentração de forças seria fatal para a estrutura.

As estruturas metálicas também começaram a ganhar força no campo da engenharia no final do século XX, pois a capacidade de vencer grandes vãos é uma vantagem marcante neste tipo de estrutura, já que a esbeltez das peças fornece aos arquitetos uma liberdade maior para dimensionar os espaços livres. Entretanto, as estruturas metálicas, assim como as pré-moldadas, não conseguem resistir tão bem ao efeito sopro, visto que a detonação de altos explosivos pode gerar pressões de até 700 ton/pol² (108 500 kg/cm²) e temperaturas em torno de 4000°C [5]. Os materiais metálicos de construção civil não suportariam suas cargas estruturais sob temperaturas tão elevadas. O concreto também perderia sua capacidade estrutural, porém em uma distância menor do ponto de detonação em relação a estrutura metálica, pois na fabricação do cimento a matéria básica suporta uma temperatura de 1500°C no auto-forno.

A utilização de concreto com o aditivo de polímeros é outra variável a ser considerada, apesar de no Brasil ainda não ser muito utilizado, mas os resultados obtidos em ensaios com este tipo de concreto provaram que o ganho de resistência, com a utilização de polímeros, é significativo [6].

As formas variadas das lajes e vigas, proporcionadas pelos aditivos e novos materiais de construção, inserem variáveis que na segunda guerra não existiam no planejamento de emprego do armamento aéreo. Podendo citar-se as novas espessuras de lajes e vigas, mais esbeltas em função de tecnologias como protensão e steel deck. A tecnologia de construção de silos de concreto protendido veio a surgir após a década de 40 [1], onde os dados sobre o comportamento de bombas de emprego geral ao atravessarem este tipo de estrutura deveriam ser estudados para que o planejamento de emprego viesse a prever, com maior precisão, o comportamento da estrutura frente ao artefato lançado. O poder de destruição de uma bomba de emprego geral em estruturas de concreto com armadura ativa, que é o caso da protensão, apresenta-se com uma variável importante para o planejador do ataque.

Apesar de a detonação de altos explosivos gerarem pressões da ordem de 108500 kg/cm² este valor vai decaindo conforme a distância pelo efeito da onda de choque gerada na detonação. Os estudos de letalidade, considerando os efeitos das bombas de alto explosivo, levam em conta a resistência específica de cada estrutura [5], sendo assim, a “Tabela 1” fornece valores de resistência característica à compressão (fck) de alguns tipos de concreto mais utilizados atualmente [3] [6].

TABELA 1 FCK DE ALGUNS CONCRETOS MAIS USADOS.

Concreto	fck
Armado simples	Até 500 kg/cm ²
Alto desempenho	Acima de 500 kg/cm ²
Polimérico	Entre 800 e 1200 kg/cm ²

IV. EFEITOS DAS BOMBAS CONVENCIONAIS

As bombas convencionais podem ser classificadas em três tipos: bombas de alto poder explosivo, incendiárias e especiais. Na “Fig. 3” observa-se uma bomba de fins gerais de alto poder explosivo.



Fig.3. BAFG 920. [7]

O poder de destruição de uma bomba convencional é inquestionável, entretanto, a magnitude do dano causado por ela em estruturas modernas só poderá ser prevista, com certa precisão, a partir do momento que se dispuser de resultados de aplicações reais. O máximo de transtorno e destruição que um artefato desta natureza pode causar é difícil de ser previsto. Entretanto, a dosagem mínima de carga explosiva para determinado tipo de alvo, para um dano desejado, deve ser bem estudada antes de se efetuar o emprego do ataque. Os danos de bombardeio obtidos na Segunda Guerra apresentam o poder de destruição de artefatos frente a uma concepção estrutural muito aquém das novas tecnologias de construção civil.

Se as estruturas conseguiram ficar mais esbeltas, proporcionando menores volumes de material a serem vencidos pelas bombas, por outro lado os materiais de construção adquiriram resistências maiores. Será que, a espessura de um concreto da década de 40, atravessada por uma bomba de 500 lb, seria a mesma para um concreto de alto desempenho (CAD) desenvolvido e largamente utilizado nos dias de hoje, que pode apresentar até três vezes [3] o valor da resistência à compressão dos concretos daquela época? Será que a bomba romperia o seu invólucro antes de atravessar a espessura prevista? Esta resposta só poderá surgir após alguns ensaios, seguidos de análises estatísticas que modelassem o efeito causado pelas bombas nas estruturas modernas. As dúvidas trazidas pelas novas tecnologias da construção civil não param por aí, o efeito ricochete em lajes inclinadas, que vem a ser uma concepção moderna de construção, também seria inevitável para algumas modalidades de emprego. Este tipo de estrutura nem sempre é facilmente detectada pelo intérprete de imagens, pois em uma imagem vertical, onde os planos se projetam em duas dimensões, só seria possível visualizar pela sombra do alvo. Caso o sensor imageador não forneça esta informação seria quase impossível de o intérprete obter esta informação apenas com a imagem.

Outra observação quanto às modernas técnicas de construção está no comportamento das estruturas metálicas e steel deck quando submetidas a incêndio.

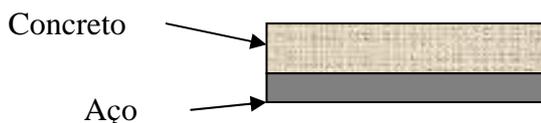


Fig. 4. Corte transversal em uma laje tipo steel deck.

Na “Fig. 4”, a chapa de aço que suporta o concreto está trabalhando na zona tracionada da laje, logo se for submetida a uma alta temperatura, provocada por um incêndio, além do tempo limite de exposição ao fogo, a edificação poderia entrar em colapso caso o restante da estrutura não suportasse

a redistribuição das cargas. O colapso de um elemento estrutural poderia levar a estrutura a um colapso progressivo. A NBR 14323 trata sobre a proteção passiva contra incêndios em estruturas metálicas e steel deck [4], porém os danos causados por um ataque aéreo não se resumem apenas a incêndio. As deformações nas estruturas metálicas seriam inevitáveis, colocando em dúvida a sua capacidade de suporte. Submeter materiais tão novos, na concepção das estruturas, a ensaios de ataque de bombas convencionais poderia fornecer valores de danos esperados atualizados. E assim, diminuir as incertezas ligadas à estimativa de dano e refinar a probabilidade de sucesso do ataque.

V. OBSERVAÇÕES FINAIS

A falta de informações atualizadas quanto ao comportamento das estruturas modernas sob ataque de bombas convencionais é um fator limitante para um planejamento confiável. O tempo e o custo para a formação de um piloto de ataque não podem ser colocados a perder de forma fácil por falta de dados para o planejamento e emprego do armamento aéreo. A soberania de uma nação depende intimamente da capacidade que ela possui de se defender e de atacar, quando necessário, os seus opressores. As informações que atribuirão maior confiabilidade no planejamento do ataque deverão ser buscadas em tempo de paz, pois em um período de conflito os recursos para ensaios e testar novos métodos de ataque acabam demandando um tempo precioso e, muitas vezes, vidas valiosas.

Faz-se necessária a atualização constante de dados e planilhas que conferem ao planejador a certeza de que o atacante tem todas as condições possíveis de cumprir a missão e voltar a salvo para sua base, causando o dano esperado ao alvo.

As variáveis atreladas a um ataque aéreo são muitas e de difícil controle, principalmente aquelas afetas ao inimigo, porém mitigar estes valores deve ser um objetivo de todos os envolvidos com o planejamento e o ataque constantemente.

O acompanhamento do desenvolvimento da tecnologia dos materiais de construção civil, as novas técnicas e aplicações é um item a ser observado concomitantemente ao desenvolvimento de novos armamentos e o aperfeiçoamento dos já em uso, pois só assim o planejamento e o ataque estarão sempre prontos para atender as necessidades de defesa de uma nação com eficiência e eficácia.

REFERÊNCIAS

- [1] Luís Fernando Kaefler “A evolução do concreto armado”, USP, São Paulo, pp.17-39, 1998.
- [2] L.A. Falcão Bauer. *Materiais de construção 1*, 3 ed., vol. 1. LTC. Rio de Janeiro, 1987, pp.2-10, 35-61, 105-133.
- [3] Sandro Eduardo da Silveira Martins. “Estudo Experimental de Concreto de Alto Desempenho Utilizando Agregados Graúdos Disponíveis na Região Metropolitana de Curitiba”, UFPR, Curitiba, pp. 1-4, outubro 2002.
- [4] Disponível em www.brasilengenharia.com.br/reportestrutmet540.htm
- [5] W. C. L. Silva, K. Ilha, P. C. M. Ferreira “Dimensionando explosivos em cabeça de Guerra para o efeito de sopro”, IX SIGE, S.J dos Campos, pp 2-4.
- [6] J. P. Gorninski, C. S. Kazmierczak “Avaliação da resistência química de concretos poliméricos em ambientes agressivos”, pp 106-112, Revista on-line da ANTAC, disponível em <http://www.antac.org.br/ambienteconstruido/>
- [7] Disponível em http://rodrigo.cadoni.vilabol.uol.com.br/bomb_mm.html