

ANÁLISE DE RESISTÊNCIA BALÍSTICA DOS MUROS DIVISÓRIOS DO PÁTIO DE SOL DAS VIVÊNCIAS DA PENITENCIÁRIA FEDERAL DE CATANDUVAS - PR

SUFFIATTI, Italanandi ¹
CANTINI FILHO, Edson Machado Zucco ²
BRESSAN, Rodrigo Techio ³

RESUMO: Com o aumento significativo do crime organizado no Brasil e levando em consideração que existem cinco penitenciárias de segurança máxima, é necessário prezar pela segurança dos agentes penitenciários, esse artigo teve como objetivo principal analisar se o sistema construtivo utilizado na Penitenciária Federal de Catanduvas (PFCAT), suporta calibres com alta quantidade de energia cinética. Assim foram construídos dois protótipos seguindo o caderno de especificações técnicas e memorial descritivo da PFCAT, e dois protótipos de viga parede onde utilizamos a NBR 6.118 (ABNT, 2014), contrapondo o método construtivo do bloco cerâmico. A aferição da energia cinética foi realizada em duas formas, sendo uma, através do cálculo de energia cinética, onde retirou-se a velocidade através do cronógrafo e peso do projétil mediante a balança. A outra foi retirar as energias dos quadros disponibilizados pela CBC, onde informam a munição, o peso do projétil e a energia da mesma. Após a aferição deu-se início aos testes, e constatou-se que a viga parede, por possuir maior rigidez, tem os resultados mais relevantes em relação à segurança se comparado ao bloco cerâmico. Os resultados de destacamento foram inferiores em cinco vezes a perfuração do protótipo de bloco cerâmico, não dispôs de nenhum projétil com capacidade de transfixar a viga parede. Os três calibres que perfuraram o protótipo de bloco cerâmico, não possuem estilhaçamento, enquanto o método construtivo da PFCAT teve quatro projéteis que geraram estilhaçamento. Desta forma a diferença de resistência balística foi grande o suficiente para justificar a mudança do muro da PFCAT.

Palavras-chave: Viga parede. PFCAT. Resistência. Calibre. Bloco cerâmico.

1. INTRODUÇÃO

A resistência balística dos presídios, é fundamental para garantir a integridade física das pessoas dentro do edifício, quando se trata de aumentar a resistência, a rigidez é o fator crucial para que não ocorra a penetração do projétil.

O Brasil possui cinco penitenciárias de segurança máxima, as rebeliões são problemas inevitáveis e não se tem nenhuma lei vigente estabelecendo um método construtivo que priorize a segurança dos agentes penitenciários em um possível confronto, para garantir a maior segurança dos mesmos em possíveis casos de troca de tiros, os protótipos de viga parede de concreto armado foram escolhidos como uma alternativa de maior resistência para contrapor o método utilizado atualmente nos presídios.

¹Italanandi Suffiatti, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR. E-mail: italanandi.s@hotmail.com.

²Edson Machado Zucco Cantini Filho, Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, 1 Cascavel - PR. E-mail: edson.cantini@hotmail.com.

³Rodrigo Techio Bressan, Mestre, Engenheiro Civil, Centro Universitário Assis Gurgacz, Cascavel - PR.

Justificando assim o estudo para comparar as resistências e comportamentos entre os protótipos de bloco cerâmico e viga parede de concreto armado e uma possível substituição das paredes de menor resistência, visando o impacto social e a atual necessidade de melhorar a segurança dos presídios, em especial os de segurança máxima.

O teste balístico e a confecção de dois protótipos de bloco cerâmico foram realizados na Associação Esportiva de Caça e Tiro Azevedo, enquanto os dois protótipos de viga parede foram confeccionados no centro universitário - FAG.

Desta forma, as perguntas que foram respondidas com este estudo eram:

- a) Quanto aos dois métodos construtivos expostos a mesma quantidade de energia cinética, houve uma semelhança de ruína? Qual foi a diferença de rigidez?
- b) A diferença na resistência balística entre os dois métodos construtivos é grande o suficiente para justificar a mudança dos muros?

Para contribuir com essa área da engenharia, este estudo tem como objetivo geral comparar o método construtivo da penitenciária federal de Catanduvas - PR (PFCAT) com o método construtivo da viga parede para determinar qual possui a maior resistência balística.

Para o pleno êxito do artigo, os objetivos específicos propostos foram:

- a) Determinar o nível de blindagem dos protótipos utilizando o método de ensaio especificado na NBR 15.000-2 (ABNT, 2020).
- b) Analisar e comparar os métodos de ruína de forma visual e com os resultados obtidos.
- c) Verificar qual dos métodos construtivos dos muros é o mais seguro para os agentes penitenciários.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados os decretos de lei que foram obedecidos em relação as armas de fogo que foram utilizadas, as normas utilizadas, o efeito dos projéteis em relação à estrutura, a classificação das armas de fogo que foram utilizadas no teste balístico, suas respectivas modalidades e a resistência do concreto.

2.1.1 Decretos-Lei para realização do teste balístico

O Decreto-Lei nº 10.627 de 12 de fevereiro de 2021, estabelece que a classificação das armas deve ser categorizada em relação a sua potência e sua alma (cano da arma) estes métodos serão usados para as classificações das armas durante os testes práticos.

O Decreto-Lei nº 10.826 de 12 de fevereiro de 2021, estabelece ordem sobre o registro, posse e comercialização de armas de fogo e munição, sobre o sistema nacional de armas (SINARM) além de definir crimes e outras providências em relação a armas de fogo.

2.1.2 Normas dos sistemas construtivos

A resistência balística do concreto é categorizada como a capacidade do material de resistir à penetração de projéteis em alta velocidade e pode ser influenciada por diversos fatores, como a composição e resistência do próprio material, a geometria e espessura da estrutura de concreto NBR 15.000-2 (ABNT, 2020).

A NBR 15.270 (ABNT, 2005), que descreve os blocos cerâmicos, como um componente da alvenaria de vedação que possuem furos prismáticos perpendiculares a face que os contém, tem como função principal a vedação e separação dos ambientes, que deve ter a resistência mínima de 1,5 MPa de compressão em relação a sua área bruta.

Vigas-parede são estruturas planas verticais apoiadas descontinuamente como as vigas, que recebem carregamentos atuantes em seu próprio plano. A NBR 6.118 (ABNT, 2014), as define como vigas altas em que a relação entre o vão e a altura (l/h) é inferior a dois metros em vigas bi apoiadas e inferior a três metros em vigas contínuas, este método construtivo será utilizado neste artigo como opção mais resistente a penetração por não possuir espaços vazados.

Sabendo que um tiro aplica força de penetração, a Norma Mercosur 9: Concreto e argamassa – Determinação dos tempos de pega por meio de resistência à penetração (ABNT, 2002) que atribui o tempo determinado de cura (três dias) para atingir a resistência máxima.

A NBR 7.480 (ABNT, 2022), estabelece os requisitos exigidos para encomenda, fabricação e fornecimento de barras e fios de aço destinados a armaduras para estruturas de concreto armado, com ou sem revestimento superficial, de acordo com ela classificam-se como barras os produtos obtidos por laminação, e como fios os obtidos por trefilação. Ambos se dividem em categorias conforme seu valor característico de resistência de escoamento (f_{yk}), assim foram utilizados os aços CA-25, CA- 50 ou CA-60 (a sigla CA indica concreto armado, e o número informa a resistência de escoamento mínima, em Kn/cm^2). Os diâmetros e seções transversais nominais de projeto seguiram a norma.

2.1.3 Métodos de ruptura ou ruína

2.1.3.1 Blindagem

A NBR 15.000-2 (ABNT, 2020), classifica a blindagem como o processo em que uma parede é revestida ou reforçada com materiais de alta resistência, a fim de torná-la capaz de resistir a impactos de projéteis de armas de fogo e separa os níveis de blindagem em relação à velocidade do projétil, dos quais apenas os três primeiros foram utilizados:

Tipo I - Proteção contra projéteis de baixa velocidade (até 420 m/s);

Tipo II - Proteção contra projéteis de média velocidade (até 550 m/s);

Tipo III - Proteção contra projéteis de alta velocidade (até 840 m/s);

O teste que define a blindagem foi realizado conforme a cartilha da Polícia Federal de 2013 para os tipos I e II e a norma norte americana NIJ 0108.01 de 1985 para o tipo III.

2.1.3.2 Impacto do projétil

O impacto balístico causa dois tipos de dano, local e global, os locais são perfuração, penetração, destacamento, estilhaçamento e estilhaçamento por punção, enquanto os danos globais são deformações por flexão, cisalhamento e grandes fissuras (BANGASH, 2009).

a) Perfuração

Se trata da passagem completa do projétil por toda a espessura do alvo, contendo ou não velocidade de saída, também é chamada de transfixação, conforme ilustrado no Apêndice 1.

b) Penetração

É a formação de uma cratera no local de impacto do projétil, onde acontece o destacamento, o despejo de fragmentos do alvo atingido, como é observado no Apêndice 2.

c) Escarificação e estilhaçamento

Escarificação é a expulsão do material da face que foi atingida e o estilhaçamento é a expulsão do material da face oposta à que sofreu o impacto, visto no Apêndice 3.

d) Processo de perfuração

Pode ser subdividido nas situações bifásica e trifásica. A primeira começa com a formação da cratera na face em que o alvo foi atingido, passa pela formação do túnel e acaba

quando o projétil perfura o alvo, como visto no Apêndice 4.

A fase trifásica, como pode ser vista no Apêndice 5 (a) engloba a bifásica, e acrescenta a formação de cratera na face posterior ao ataque e caso o alvo tenha uma espessura muito baixa, o túnel não ocorre, como pode ser visto no Apêndice 5 (b).

2.1.4 Classificação das armas

As armas foram classificadas em relação à alma do cano, que é a parte oca do interior do cano de uma arma de fogo, vai desde a culatra até a boca do cano, destinada a resistir à pressão dos gases produzidos pela combustão da pólvora e a orientar o projétil. Pode ser lisa ou raiada, dependendo do tipo de munição para o qual a arma foi projetada (INSTITUTO DE DEFESA, 2013).

A alma raiada é constituída no interior do cano com sulcos helicoidais dispostos no eixo longitudinal, destinados a forçar o projétil a um movimento de rotação, aumentando seu poder de penetração, onde se torna um fator importante para resistência balística, enquanto que a alma lisa é isenta desses raiamentos, com superfície absolutamente polida, essa têm um sistema redutor acoplado ao extremo do cano, cuja finalidade é controlar a dispersão dos bagos de chumbo, mas conseqüentemente diminui seu poder de penetração nos protótipos, ilustrados nos Apêndices 6 e 7.

3. METODOLOGIA

3.1. Tipo de estudo e local da pesquisa

Para a elaboração do experimento, foram confeccionados quatro protótipos, dois deles foram construídos no laboratório de construção civil da FAG, sendo esses de viga parede com dimensões de 80 x 80 x 14 cm para um, que foram escolhidos por ter rigidez superior ao bloco cerâmico, com maior resistência balística. E os dois protótipos com blocos cerâmicos de seis furos com dimensões de cada 11,5 x 86 x 86 cm, sendo utilizados blocos cerâmicos de 11,5 x 19 x 19 cm e considerando 5 cm de argamassa de revestimento, foram confeccionados na Associação Esportiva de Caça e Tiro Azevedo, a escolha deste método construtivo foi feita por se tratar do mesmo método construtivo do muro divisório do pátio de sol das vivências da PFCAT.

3.1.1 Caracterização da amostra

A NBR 15.000-2 (ABNT, 2022) separa o protótipo em quatro quadrantes, estabelece um disparo por quadrante, desta forma foi necessária a construção de dois protótipos de cada método construtivo.

a) Blocos cerâmicos

Os dois protótipos foram assentados com argamassa no traço 1:2:8 com espessura das juntas de 5 cm. A argamassa foi preparada de forma manual no local de aplicação. Após a execução do protótipo foi aplicado chapisco com traço 1:3 e emboço no traço 1:2:8, em ambos os lados da parede, passando por um período de cura de dez dias, a superfície resultante ficou sem imperfeições no prumo e nivelada como descreve no caderno de especificação técnica e memorial descritivo do muro divisório do pátio de sol das vivências da Penitenciária Federal de Catanduvas – PR - PFCAT.

b) Viga parede

Os dois protótipos foram confeccionados com concreto com o traço 1:2:3 misturado em betoneira, sua cura foi realizada durante o período de cinco dias. A Norma Mercosur 9 (ABNT, 2002) estabelece a resistência do concreto usado nos ensaios práticos, essa estabelece que o tempo de cura finaliza após o concreto atingir mais de 27,6 MPa, que ocorre a partir do vigésimo oitavo dia, entretanto para esse experimento foi utilizado um tempo de cura de trinta e quatro dias.

Para armadura foram utilizadas barras de ferro 8 mm, CA – 50, inicialmente foi observado o estado em que se encontram as armaduras para garantir que elas estivessem livres de impurezas, corrosões etc.

O corte foi realizado com um equipamento compatível com o diâmetro da barra CA-50 e corte de acabamento satisfatório, para seu dobramento foram colocadas em uma mesa de dobragem sobre uma bancada seguindo as orientações da NBR 6118 (ABNT, 2022), que normaliza os ganchos das armaduras.

A quantidades de barras e a forma como foram posicionadas na transversal do elemento atendendo a NBR 6118 (ABNT, 2022) que dita os requisitos básicos exigíveis para projeto de estruturas de concreto simples, armado e protendido, excluídas aquelas em que se empregam concreto leve, pesado ou outros especiais, fazendo assim que assegure a penetração

e o adensamento do concreto em todos os vazios do elemento.

As fôrmas foram construídas *in loco*, de forma manual, utilizando-se pregos, martelo e desmoldante, foi utilizada madeira de pinus e tapume das fôrmas, a conferência para liberação foi realizada para averiguar se não havia espaços para garantir a estanqueidade dos agregados.

3.1.2 Material utilizado no teste balístico

Para as armas curtas o atirador se posicionou a dez metros de distância do alvo e para as armas longas, com o mínimo quinze metros. No entanto a distância adotada para os testes foi de vinte e cinco metros para a segurança dos atiradores e autores devido à escarificação que ocorreu, esperando o comando e atirando no alvo, em um ângulo reto (90° com até 3° de tolerância) nos quadrantes previamente demarcados. Após o disparo ter ocorrido, o atirador garantiu a segurança dentro da pista de tiro. E após isso os autores fotografaram e analisaram o impacto do projétil nos quatro tipos de protótipos, retornando para a área de segurança, esse processo foi repetido com todas as armas, após o final do teste prático, foram utilizados os dados obtidos para a comparação.

Para realizar o teste balístico, foram utilizados calibres semelhantes (em quantidade de energia) sendo que as armas foram apreendidas pela Polícia Rodoviária Federal em 2023, as quais são igualmente de calibre restrito:

- a) Rifle .22;
- b) Pistola 9 mm;
- c) Revólver 44 Magnum;
- d) Carabina 44 Magnum;
- e) Fuzil .556;
- f) Espingarda .12 GA;
- g) Carabina .357;
- h) Fuzil .308 Winchester.

A cartilha de armamento e tiro da Polícia Federal de 2013 menciona que a distância entre alvo e atirador para armas curtas deve ser de dez metros, essas medidas são para a pistola 9 mm e o revólver 44 Magnum, porém não especifica a distância exata para armas longas de canoaiado que são o rifle .22, carabina 44 Magnum, fuzil .556, espingarda .12 GA, carabina .357e fuzil .308 Winchester. Entretanto a NIJ 0801.01 (NIJ, 1985) especifica que a distância dever ser no mínimo de quinze metros, porém foi adotado a distância de vinte e cinco metros

pelo motivos citados previamente, essas distâncias foram medidas com uma trena.

Para cada arma foram realizados dois disparos, sendo um para cada tipo de protótipo (bloco cerâmico e viga parede), totalizando assim dezesseis disparos.

Para as armas portáteis de cano curto, a sua energia foi aferida pela Equação 1.

$$Ec = \frac{m.v^2}{332225,0973} \quad (1)$$

Onde, m é massa medida em *grains* e foi obtida através de uma balança de precisão; v é a unidade de velocidade medida em pés por segundo e é obtida através do cronógrafo, apresentado no Apêndice 8.

As armas de cano longo, não foram submetidas ao cronógrafo que a associação disponibiliza, pois, a sua energia cinética é alta, podendo degradar o aparelho, sendo que a Companhia Brasileira de Cartuchos (CBC), possui suas munições catalogadas e as disponibiliza publicamente, as armas que foram utilizadas no teste balístico possuem os dados dispostos nos Quadros a seguir.

Quadro 1: Potência das armas longas 1

Código	Munição Fuzis e Rifles	Peso Projétil (gr)	velocidade (m/s)	Energia (Joules)	Provete (cm)	Utilização/Características
.308 Winchester (Produto de uso restrito)						
10023971	ETPT - Encamisada Total Pontaguda / FMJ	150	858	3.579	61	Projéteis de grande penetração e longo alcance
5,56x45mm (Produto de uso restrito)						
10025866	Comum Treina	55	995	1.763	50,8	Munição destinada para treinamento.

Fonte: CBC (2021).

Quadro 2: Potência das armas longas 2

Código	Descrição	Calibre
.44 REM Magnum (Produto de uso restrito)		
10001745	Projétil .44 Mag EXPP 240gr	.44 rem mag

Fonte: CBC (2021).

Quadro 3: Potência das armas longas 3

Código	Calibre	Câmara	Chumbo/Bago/Projétil	Diâmetro Proj. Singular (mm)	Carga (gr)	Velocidade (m/s)	Energia (Joules)	Provete (Pol/cm)
10001212	12	70 mm	Knock Down – Balote	18,7	32	420	2.822	71,1

Fonte: CBC (2021).

Esses quadros mostram a velocidade que utilizamos para fazer o calculo da Equação 1.

3.1.3 Segurança na realização do teste balístico

Os disparos foram realizados pelo atleta e campeão mundial pela IPSC - *International Practical Shooting Confederation* Moacir de Azevedo, Certificado de Registro (CR), nº 16991 e pelo atleta brasileiro mundialmente reconhecido e vice-campeão Pan-Americano Rafael Patrick de Azevedo, CR nº 303946.

Apenas pessoas licenciadas e registradas podem realizar os disparos legalmente, conforme a Lei Federal nº 10.826 de 2003.

Após aferida a energia dos projéteis através da Equação 1, as munições foram realocadas para o local de ensaio, uma pista com taludes (para-balas) de 12 m de altura frontal e 4,30 m de alturas laterais para manter a segurança durante a realização do ensaio, conforme Apêndice 9.

Na sequência iniciaram-se as medidas de segurança com a retirada das armas de suas cases na área de segurança.

No local destinado e demarcado para o ensaio os atiradores municiaram os carregadores e deram as vozes de comando para os demais se alocarem atrás da demarcação da linha de tiro, averiguaram se todos os participantes do ensaio estavam utilizando seus Equipamento de Proteção Individual (EPI), sendo eles óculos de proteção e abafador. Só então o atirador alocou os dois componentes, arma e carregador, uma vez que o não seguimento dessas medidas, podem acarretar na segurança dos indivíduos presentes e um processo administrativo para a Associação Esportiva de Caça e Tiro Azevedo.

Para a determinação da resistência aos impactos de projéteis deflagrados por armas de fogo, foram seguidos os procedimentos da norma NBR 15.000-2 (ABNT, 2020), os disparos foram executados na ordem e lugar indicados no Apêndice 10 e apenas foram válidos se estiverem dentro da delimitação do quadrante associado para o disparo.

Essa delimitação foi seguida por esses pontos possuírem a maior resistência da estrutura, o atirador se posicionou a um ângulo de 90° com o alvo e a distância descrita para armas curtas e longas.

Após a execução dos disparos de ensaio, foi retirado o carregador, realizadas duas vezes a manobra de extração de possível munição na câmara da arma, com a arma apontada para o talude e executando um disparo a seco, e por fim, foi dada a última voz de comando, onde os autores foram liberados para executar a verificação dos protótipos.

3.1.4 Análise dos dados

Os resultados foram dispostos em imagem, tabelas e textos, sendo previamente analisados no local de forma visual com a utilização de uma trena para medir o raio do dano do projétil na estrutura e o qual tipo de impacto em cada quadrante da estrutura, sendo elas previamente descritas no item 2.1.3 Métodos de ruptura ou ruína, foram realizados registros fotográficos dos protótipos no local do ensaio.

Os cálculos de energia de cada arma foram inseridos em tabelas com os raios dos danos causados, relacionando a potência, a escarificação e o estilhaçamento sofridos pelas estruturas, obtendo-se a diferença de comportamento entre os protótipos de bloco cerâmicos e os de viga parede que em concordância com as imagens.

3.1.5 Traçado do concreto armado

Para a realização da confecção dos Protótipos de viga parede foi utilizado o traçado conforme Quadro 4. Após confeccionado os protótipos com o tempo de cura de trinta e quatro dias de pega de resistência, foram alocados ao local para a realização dos ensaios, utilizando-se um trator adjunto com duas cintas de elevação de carga de dez toneladas de força, disponibilizados pela Associação Esportiva de Caça e Tiro Azevedo, salientando que os protótipos de bloco cerâmicos foram construídos no local da realização do ensaio.

Quadro 4: Relação entre energia cinética e perfuração no bloco cerâmico.

Materiais	Traço (massa)	Consumo (kg/m ³)
Cimento	1	457
Areia	2	913
Brita 1	3	1373
Água	0,5	228

Fonte: Autores (2023).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na realização dos testes nos protótipos de viga parede e blocos cerâmicos, levou-se em consideração a distinção de rigidez dos dois métodos utilizados, constatou-se uma disparidade na resistência a perfuração escarificação e estilhaçamento. A viga parede possui uma grande rigidez comparada ao bloco cerâmico, obteve-se resistência à perfuração na ordem de cinco vezes maior que a do bloco cerâmico.

Considerando a rigidez em função do estilhaçamento, a viga parede obteve resultados favoráveis em relação ao bloco cerâmico, uma vez que a mesma não dispôs de estilhaçamentos,

em contra partida o bloco cerâmico obteve quatro efeitos de estilhaçamentosendo três deles bastante expressivos, efeito este provocado pela ação de expulsar materiais nafase oposta ao impacto.

Por sua vez ocorreu o inverso sobre a ação de escarificação, ao qual o bloco cerâmico teve valores inferiores comparados ao da viga parede, uma vez que bloco cerâmico por possuir regiões ocas, e baixa resistência a perfuração, proporcionou grandes volumes para dispersar a energia proveniente do projétil, em contra partida a viga parede por se tratar de um bloco rígido e maciço, não possui volumes para dispersar a energia, sendo totalmente aplicada a superfície atingida, gerando assim grandes escarificações em comparação ao bloco cerâmico.

A Figura 1 trata-se de uma viga parede, que sofreu os impactos dos calibres .357 Magnum, .556, .308 Winchester e Carabina .44 Magnum, nota-se que a mesma obteve um desempenho de alta resistência a perfuração e uma baixa resistência a escarificação, uma vez que o projétil de maior energia não penetrou o suficiente para atingir o centro do protótipo, entretanto para os calibres inferiores ao .308 Winchester averiguou-se um alto índice de escarificação em comparação ao protótipo de bloco cerâmico.

Na Tabela 1, encontra-se uma relação entre a área de entrada, caracterizando a escarificação e a energia em Joules, resultando na quantidade de energia necessária para ocorrer escarificação de 1 cm² no bloco de viga parede. Percebe-se que todos os calibres exceto o 9 mm, necessitaram de baixa energia para escarificar 1 cm², provando-se que a resistência à escarificação para o protótipo de viga parede não teve um resultado favorável.

Figura 1: Protótipo 1 de viga parede.



Fonte: Autores (2023).

Tabela 1: Relação entre energia cinética área de entrada no concreto armado

Calibres	Área de Entrada(cm ²)	Energia Cinética (J)	Relação (J/cm ²)
Car .357	81,71	724	8,86
Fuzil 308w	86,59	3.579	41,33
Fuzil .556	78,54	1.763	22,45
Car. 44 MAG	95,03	1.891	19,90
.22	12,57	724	57,61
12 GA	63,62	3.579	56,26
PIST 9MM	3,14	494	157,32
REV 44 MAG	28,27	1.891	66,88

Fonte: Autores (2023).

A Figura 2 ilustra a parede de bloco cerâmico, cujos os impactos dos calibres .357 Magnum, .556, .308 Winchester e Carabina .44 Magnum, constatou que houve uma baixa

resistência à perfuração e alta resistência à escarificação, em razão dos projéteis .44 Magnum e .308 Winchester alcançarem a transfixação do protótipo, em relação a escarificação todos os projéteis não atingiram 10% da área escarificada comparados ao protótipo de viga parede em seus subsequentes calibres. Entretanto ocorreu grande estilhaçamento dos projéteis que transfixaram o protótipo atingindo uma área de estilhaçamento maior que doze vezes a escarificação no calibre .308 Winchester e maior que duas vezes na carabina .44 Magnum, provando-se que o calibre .308 Winchester transfixou o protótipo sobrando energia cinética, desta forma em relação a segurança da PFCAT pode-se considerar que a energia restante tem característica nociva ao indivíduo que estiver na face oposta da parede atingida.

Verifica-se uma relação de causa e efeito do protótipo de bloco cerâmico na Tabela 1, onde a causa se trata da energia cinética, efeito à perfuração e a relação sendo a quantidade de energia necessária para obter uma perfuração de 1 cm, obtendo como resultado valores inferiores a 198 J/cm para os calibres que não transfixaram e uma constatação da falta de uma resistência à perfuração com capacidade de segurar o projétil na estrutura.

Figura 2: Protótipo 1 de bloco cerâmico.



Fonte: Autores (2023).

Tabela 2: Relação entre energia cinética e perfuração no bloco cerâmico.

Calibres	Perfuração (cm)	Energia Cinética (J)	Relação (J/cm)
Car .357	7,9	724	91,65
Fuzil 308w	Transfixou	3.579	Transfixou
Fuzil .556	11,3	1.763	156,02
Car. 44 MAG	Transfixou	1.891	Transfixou
.22	1	108	108,00
12 GA	14,3	2.822	197,34
PIST 9MM	11,5	494	42,96
REV 44 MAG	Transfixou	1891	Transfixou

Fonte: Autores (2023).

Conforme Ilustrado na Figura 3, que se trata do segundo protótipo de viga parede, que sofreu os impactos dos calibres .22, .12GA, .9mm e revólver .44 Magnum, onde a .22 e .9mm obtiveram uma área escarificada inferior aos demais calibres, devido a sua baixa energia cinética, em contra partida os demais calibres obtiveram resultados de estilhaçamento semelhantes em relação aos calibres do primeiro protótipo de viga parede.

Em relação a perfuração constata-se novamente que o protótipo obteve alta resistência a perfuração, obtendo como seu maior resultado 3 cm de perfuração no calibre .44 Magnum, atingindo somente 20% da largura total da viga parede.

Na Tabela 2 verifica-se uma relação de causa e efeito entre a energia em Joules por distância de perfuração em cm, nos protótipos de viga parede. Observando-se que exceto o calibre 22, em todos os outros calibres aplicou-se um maior quantidade de energia para perfurar 1 cm de largura do bloco. Um exemplo da diferença de resistência á perfuração dos dois sistemas construtivos de parede propostos, foi encontrado no calibre 12 GA, onde no método da PFCAT, é necessário 197, 34 Joules para perfurar 1 cm, poré foi necessário uma energia 5 vezes maior para perfurar a mesma profundidade de 1 cm no bloco de viga parede, computando 1045,19 J/cm.

Figura 3: Protótipo 2 de viga parede.



Fonte: Autores (2023).

Tabela 3: Relação entre energia cinética e perfuração no concreto armado.

Calibres	Perfuração (cm)	Energia Cinética (J)	Relação (J/cm)
Car .357	2,9	724	249,66
Fuzil 308w	5,1	3.579	701,76
Fuzil .556	3,6	1.763	489,72
Car. 44 MAG	3,4	1.891	556,18
.22	1	108	108,00
12 GA	2,7	2.822	1045,19
Pist 9 mm	1,2	494	411,67
REV 44 MAG	3	1891	630,33

Fonte: Autores (2023).

Na Figura 4 o método construtivo proposto pela PFCAT, sofreu os impactos dos calibres .22, .12GA, .9mm e revólver .44 Magnum, constata-se novamente que a mesma obteve baixa resistência a perfuração em razão do projétil .44 Magnum alcançar a transfixação e a .12GA, atingir 95% da largura total do protótipo, em relação a escarificação novamente obteve-se áreas inferiores ao protótipo de viga parede, entretanto o revólver .44 Magnum obteve uma área de estilhaçamento superior a dez vezes a sua escarificação provando-se que novamente em sua transfixação sobrou grande quantidade de energia cinética, sendo nociva ao indivíduo na fase oposta da parede atingida.

A Tabela 4, apresenta a mesma relação que a Tabela 3, de energia cinética por área de entrada, sendo aplicada no método construtivo da PFCAT, neste caso o resultado de resistência à escarificação foi superior ao protótipo de viga parede, com a maior resistência em relação ao calibre .556 ao qual necessitou de 3507,38 Joules para escarificar 1 cm², cuja resistência foi 156 vezes superior na viga parede. Entretanto essa análise obtida teve como característica principal,

o uso da dissipação de energia através do acréscimo de volume entre os furos do tijolo e a distância de túnel de perfuração no protótipo, sendo assim não é um resultado favorável a segurança da estrutura.

Figura 4: Protótipo 2 de bloco cerâmico.



Fonte: Autores (2023).

Tabela 4: Relação entre energia cinética e área de entrada no bloco cerâmico.

Calibres	Área de Entrada(cm ²)	Energia Cinética (J)	Relação (J/cm ²)
Car .357	3,14	724	230,46
Fuzil 308w	3,14	3.579	1139,23
Fuzil .556	0,50	1.763	3507,38
Car. 44 MAG	9,62	1.891	196,55
.22	1,77	724	409,70
12 GA	7,07	3.579	506,33
PIST 9MM	2,54	494	194,48
REV 44 MAG	4,91	1.891	385,23

Fonte: Autores (2023).

Na Tabela 5, analisou-se a relação de energia cinética em função do estilhaçamento no bloco cerâmico, havendo a ocorrência de 4 disparos, sendo infímo no calibre .12 GA, em contra partida, foi significativo no calibre .44 Magnum, que necessitou de 37,62 Joules para obter 1 cm² de estilhaçamento, enquanto no calibre de maior energia como o fuzil .308 Winchester necessitou de 93 J/cm².

Na Tabela 6 percebe-se a grande eficácia do protótipo sugerido de viga parede, já que em nenhum calibre ocorreu o estilhaçamento, provando assim que nenhum projétil afetou a face oposta do protótipo, dando total segurança ao indivíduo que possa estar atrás da parede, pois a parede suportou toda a energia, sendo assim nenhum projétil poderia atingir o indivíduo.

Tabela 5: Relação entre energia cinética e área de saída no bloco cerâmico.

Calibres	Área de Saída (cm ²)	Energia Cinética (J)	Relação (J/cm ²)
Car .357	0	724,00	0
Fuzil 308w	38,48	3.579,00	93,00
Fuzil .556	0,00	1.763,00	0
Car. 44 MAG	23,76	1.891,00	79,59
.22	0	108,00	0
12 GA	0,002	2.822,00	1437234,01
PIST 9MM	0	494,00	0
REV 44 MAG	50,27	1891,00	37,62

Fonte: Autores (2023).

Tabela 6: Relação entre energia cinética e área de saída no concreto armado.

Calibres	Área de saída (cm ²)	Energia Cinética (J)	Relação (J/cm ²)
Car .357	0	724,00	0
Fuzil 308w	0	3.579,00	0
Fuzil .556	0	1.763,00	0
Car. 44 MAG	0	1.891,00	0
.22	0	108,00	0
12 GA	0	2.822,00	0
PIST 9MM	0	494,00	0
REV 44 MAG	0	1891,00	0

Fonte: Autores (2023).

a) Rifle 22

Pode-se observar na Figura 5 que a energia cinética não foi suficiente para que ocorresse o processo de formação de túnel, porém ocorre perfuração de 1 cm e é perceptível um alto grau de escarificação no protótipo com diâmetro de 4 cm.

Observa-se na Figura 6 que a quantidade de energia cinética apresentada pelo calibre, novamente não foi suficiente para ocorrer o processo formação de túnel, obtendo perfuração de 1 cm e uma escarificação com diâmetro de 1,5 cm.

Figura 5: Reação do protótipo de viga parede



Fonte: Autores (2023).

Figura 6: Reação do protótipo de bloco cerâmico



Fonte: Autores (2023).

b) Pistola 9 mm

Como pode ser visto na Figura 7, o calibre 9 mm possui uma energia superior a .22 e obteve uma perfuração maior totalizando 2 cm, e com escarificação de 2 cm.

Observa-se na Figura 8 que o projétil perfurou 11,5 cm do protótipo causando 1,8 cm

de escarificação, o projétil não atravessou a segunda parte do tijolo devido a dissipação de energia.

Figura 7: Reação do protótipo de viga parede



Fonte: Autores (2023).

Figura 8: Reação do protótipo de bloco cerâmico



Fonte: Autores (2023).

c) Revólver 44 Magnum

Este calibre apresentou um alto grau de escarificação no protótipo, aproximadamente 6 cm, conforme ilustrado na Figura 9, porém com penetração de 3 cm, devido a rigidez do sistema construtivo.

O bloco cerâmico teve um destacamento de 2,5cm, isso devido a uma grande perfuração ao qual atribui-se maior volume para dissipação de energia e uma escarificação na fase oposta de 8cm, conforme ilustrado na Figura 10, não ocorrendo transfixação, destacando 11,8cm.

Figura 9: Reação do protótipo de viga parede



Fonte: Autores (2023).

Figura 10: Reação do protótipo de bloco cerâmico



Fonte: Autores (2023).

d) Carabina 44 Magnum e viga parede

É possível observar um alto índice de escarificação conforme Figura 11, com um

diâmetro de 11 cm, entretanto o projétil perfurou superficialmente o protótipo em 3,4 cm, por conta de sua rigidez.

Figura 11: Reação do protótipo de viga parede



Fonte: Autores (2023).

e) Carabina 44 Magnum e bloco cerâmico

Devido ao projétil ter transfixado nota-se um alto índice de escarificação sendo 3,5 cm de diâmetro e 5,5 cm de estilhaçamento na saída.

Figura 12: Reação da frente protótipo de bloco cerâmico.



Fonte: Autores (2023).

Figura 13: Reação da face oposta



Fonte: Autores (2023).

f) Fuzil .556

Pode ser visto na Figura 14 que o impacto causou um alto nível de escarificação com 10,2 cm de diâmetro, porém o projétil não transfixou o protótipo alcançando destacamento de 2,9 cm.

De acordo com a Figura 15 nota-se uma baixa escarificação de 0.8mm, contudo por

conta do alto índice de energia cinética ocorre uma perfuração de 11,3 cm, não ocorrendo transfixação devido à baixa massa do projétil.

Figura 14: Reação do protótipo de viga parede



Fonte: Autores (2023).

Figura 15: Reação do protótipo de bloco cerâmico



Fonte: Autores (2023).

g) Espingarda .12 GA

Na Figura 16 é perceptível um elevado nível de escarificação com diâmetro de 9 cm, porém um baixo índice de destacamento do protótipo, apenas 1 cm, tendo assim um alto teor de dispersão de energia devido ao formato esférico do projétil que proporciona elevado índice de impacto e baixo índice de perfuração.

A Figura 17 ilustra o impacto do projétil da espingarda 12GA, ao qual acertou o ponto de maior rigidez, deslocando o mesmo diagonalmente dentro da estrutura, criando assim uma formação de cratera diagonal, não chegando a transfixar, mas estilhaçando com um diâmetro de 0.5mm do lado oposto da estrutura, e obtendo uma penetração de 14,3 cm.

Figura 16: Reação do protótipo de viga parede



Fonte: Autores (2023).

Figura 17: Reação do protótipo de bloco cerâmico



Fonte: Autores (2023).

h) Carabina .357

Conforme ilustrado na Figura 18, obteve-se um índice de escarificação de 10,2 cm de diâmetro e perfuração de 2,9 cm devido a rigidez do protótipo.

Observa-se na Figura 19, um resultado semelhante a 12GA, onde o projétil atingiu o ponto de maior rigidez deslocando-o e causando uma formação de túnel na horizontal, apresentou uma escarificação de 2 cm de diâmetro e uma perfuração de 7,9 cm.

Figura 18: Reação do protótipo de viga parede



Fonte: Autores (2023).

Figura 19: Reação do protótipo de bloco cerâmico



Fonte: Autores (2023).

i) Fuzil .308 Winchester

Na Figura 20, observa-se o maior impacto na viga parede, este impacto é justificado devido a uma incidência de extrema energia cinética proveniente do calibre, desta forma obtendo uma escarificação de 10,5 cm, e uma perfuração de 5,1 cm.

Na Figura 21, obteve uma escarificação muito inferior do que se espera de um impacto de grande energia cinética, devido ao baixo índice de rigidez do bloco cerâmico, resultando na facilidade do projétil transfixa, com destacamento de 2 cm e uma escarificação de 5,5 cm.

Figura 20: Reação do protótipo de viga parede



Fonte: Autores (2023).

Figura 21: Reação do protótipo de bloco cerâmico



Fonte: Autores (2023).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, pode-se considerar que a rigidez é crucial na resistência aos efeitos em relação aos impactos nas paredes. A viga parede por ser mais rígida resiste melhor aos efeitos causados pelos projéteis, uma vez que manteve sua forma e estrutura de forma minimizada, tanto em deformação quanto em penetração, provando a importância de se possuir uma maior integridade da parede para a segurança dos indivíduos.

Percebeu-se que o aumento da área de dissipação de energia, ajudou na distribuição da força de impacto, reduzindo a pressão localizada sobre a parede atingida, desta forma, para estudos futuros a aplicação de chapas metálicas no centro da viga parede, pode afetar em um aumento significativo de resistência, em comparação ao próprio protótipo utilizado para contrapor o bloco cerâmico da PFCAT. Com relação a esse sistema construtivo aplicado na mesma, pode-se notar, uma grande fragilidade, em relação a seu destacamento, em razão de que quatro projéteis a perfuraram, sendo que três deles causaram grande estilhaçamento provando que o projétil além de perfurar, teve sobra de energia ao qual pode ser nocivo para o indivíduo que estiver na face oposta do muro atingida pelo disparo.

Desta forma a diferença de resistência balística é grande o suficiente para justificar a mudança do muro divisorio do pátio de sol das vivências da PFCAT, uma vez que as pessoas dentro do patio estão propícias a serem atingidas por projéteis de grande energia, bem como é necessário o acompanhamento de um engenheiro especializado nas características dos materiais de construção. Posto isso, esse artigo será de grande valia, para acrescentar maior rigidez e área de dissipação de energia, tornando cada vez mais seguras as penitenciárias e assegurando a vida dos indivíduos no interior do edifício.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.000-2: Proteção balística - Parte 2: Requisitos para o projeto e avaliação do desempenho de sistemas e elementos de proteção balística.** Rio de Janeiro, 2020.

_____. **NBR 15270: Componentes cerâmicos – Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7480: Aço destinado às armaduras para estruturas de concreto armado – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO. **NM 9: Concreto e argamassa - Determinação dos tempos de pega por meio de resistência à penetração.** Rio de Janeiro, 2002.

ACADEMIA NACIONAL DE POLÍCIA. **Cartilha de armamento e tiro,** Brasília, 2013.

BANGASH. **Shock, impact and explosion.** Springer Berlin Heidelberg, 2009.

BRASIL. AGÊNCIA DA CÂMARA DE NOTÍCIAS. **Projeto estabelece padrões mínimos para construção e reforma de presídios,** Brasília – DF, 2020.

BRASIL. GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. **Caderno de especificações técnicas e memorial descritivo do muro divisório do pátio de sol das vivências da penitenciária federal em Catanduvas,** Catanduvas – Paraná, 2022.

BRASIL. DEPARTAMENTO PENITENCIÁRIO NACIONAL. **Penitenciárias Federais são modelos no Brasil e no mundo atuando pela ordem e segurança do País,** Brasília - DF, 2019.

BRASIL. GOVERNO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO. **Polícia Militar faz grande apreensão de armas de facção criminosa em Vitória,** Vitória - ES, 2023.

BRASIL. MINISTÉRIO DA JUSTIÇA, **DECRETO-LEI Nº 10.627,** Brasília - DF, 2021.

_____. **DECRETO-LEI Nº 10.826,** Brasília - DF, 2003.

_____. **DECRETO-LEI Nº 6.014,** Brasília - DF, 2019.

BRASIL. GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. **Estabelecimentos prisionais do estado do Ceará,** Ceará, 2022.

CARLUCCI, S. JACOBSON, S. **Ballistics: theory and design of guns and ammunition,** 2008.

COMPANHIA BRASILEIRA DE CARTUCHOS. **Catálogo de Munições e Componentes,** Brasília - DF, 2019.

DAUDEVILLE, L. **Concrete structures under impact European Journal of Environmental and Civil Engineering** Grenoble, France, 2011.

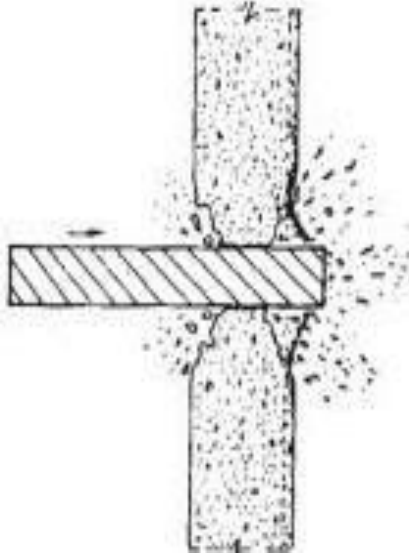
ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. DEPARTAMENTO DE JUSTIÇA, **NIJ 0108.01: Ballistic Resistant Protective Materials,** Washington - DC, 2006.

INSTITUTO DE DEFESA. **Canos Raiados e Canos de Alma Lisa,** Brasília - DF, 2013.

TIBÚRCIO, D. G. **Análise Experimental de Placas de Concreto Submetidas a Impacto de Projéteis em Alta Velocidade.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão - PR, 2019.

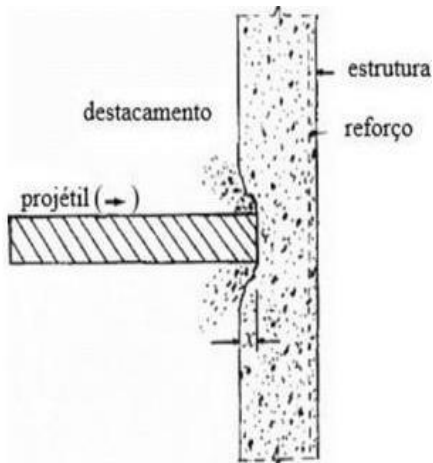
APÊNDICE

Apêndice 1: Perfuração



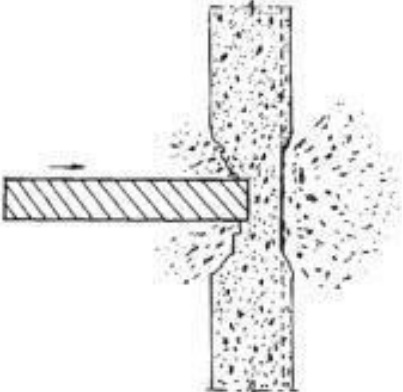
Fonte: Bangash (2009).

Apêndice 2: Destacamento e Penetração (x).



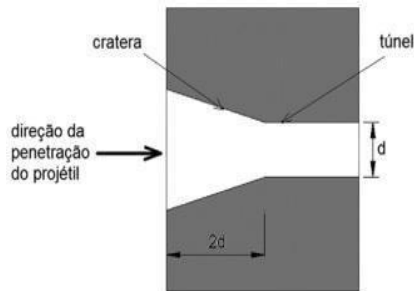
Fonte: Bangash (2009).

Apêndice 3: Escarificação e estilhaçamento



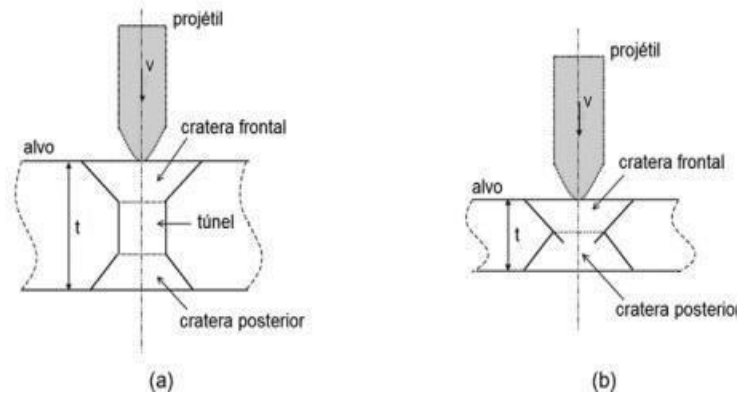
Fonte: Bangash (2009).

Apêndice 4: Fase bifásica de penetração



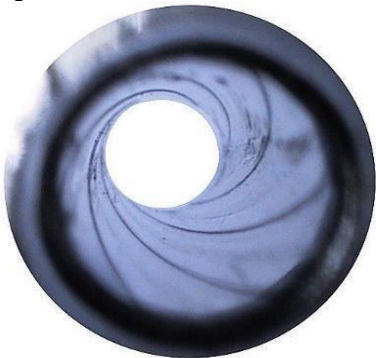
Fonte: Carlucci e Jacobson (2008).

Apêndice 5: Fase trifásica em alvo de grande espessura (a) e pequena espessura (b)



Fonte: Carlucci e Jacobson (2004).

Apêndice 6: Cano de Alma Raiada



Fonte: Instituto de Defesa (2013).

Apêndice 7: Cano de Alma Lisa.



Fonte: Instituto de Defesa (2013).

Apêndice 8: Cronógrafo



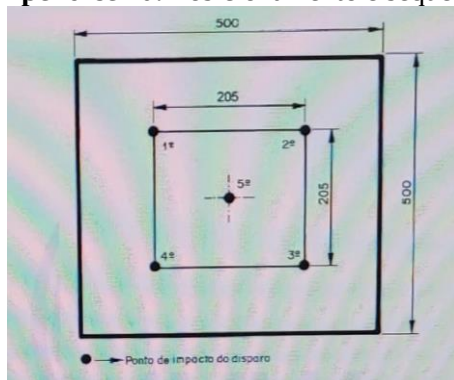
Fonte: Autores (2023).

Apêndice 9: Pista de tiro



Fonte: Autores (2023).

Apêndice 10: Posicionamento e sequência dos disparos.



Fonte: NBR 15.000-2 (ABNT, 2020).