

Nova solução de engenharia de segurança para risco de queda em acesso vertical a espaços confinados

A safety engineering new solution for risk of falling in vertical access to confined spaces

Abstract

In EPAL – *Empresa Portuguesa das Águas Livres, SA*, in Vale da Pedra factory, the risk of falling from a height in the vertical access to confined spaces, was evaluated as being acceptable by the adoption of control measures that did not exist, or were not suitable, or were not used. To respond to this problem, an innovative portable anti-falling device was designed, developed and tested. This prevents falling in access between the ground and the first steps of vertical openings leading to confined spaces. In addition to the preventive function, it can also be part of the fall-arrest protection, as anchor point of fall protection equipment. Several tests revealed that, in comparison with the prefabricated alternatives available, this solution is best suited to prevent falls, due to its adaptability to multiple access settings, with a relatively light device, easy to carry and to use. Physical calculations corroborated the stability and resistance of this device.

Keywords: Vertical access; Confined space; Fall from height; Fall-arrest safety.

1. INTRODUÇÃO

Num projeto final de licenciatura em Engenharia de Segurança do Trabalho, foram avaliados riscos de queda em altura em acessos verticais de espaços confinados, na EPAL – *Empresa Portuguesa das Águas Livres, SA*, em Vale da Pedra. O problema de partida identificado neste projeto foi a falta de controlo do risco de queda, na transição entre a cota do solo e a cota dos primeiros degraus (e vice-versa), em diversos tipos de acessos verticais a espaços confinados (exemplos nas figuras 1 e 2). A experiência dos trabalhadores demonstra que esta transição obriga a suspender todo o corpo nas mãos apoiadas na bordadura da abertura, apelando a um esforço atlético dos membros superiores.



Figura 1 – Caixa para injeção de cloro em conduta



Figura 2 – Caixa com medição de caudal em conduta

O risco de queda em altura nestes acessos, foi avaliado como sendo aceitável mediante a adoção de medidas de controlo que não existem, ou que não são adequadas, ou ainda que não são utilizadas. As alternativas pré-fabricadas disponíveis na Empresa são pouco utilizadas porque:

- as fixas (colunas telescópicas para preensão manual) implicam riscos de queda e de constrangimento postural, além de custos proibitivos, porque teriam que ser montadas em milhares de instalações pré-existentes;
- as portáteis (tripés para suspensão de equipamento anti queda), requerem demasiado tempo e espaço, para utilizações quase sempre muito breves.

Para suprir esta lacuna de controlo de riscos, estabeleceram-se como objetivos conceber, fabricar e ensaiar com sucesso um equipamento coletivo anti queda específico para esta necessidade, que fosse eficaz, prático de transportar e fácil de usar nas diferentes tipologias de aberturas acedidas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram efetuados diversos ensaios para testar os diferentes protótipos desenvolvidos. O processo envolveu as seguintes etapas: desenho; teste; análise dos resultados; nova conceção. Este processo iterativo levou ao último dos equipamentos desenvolvidos. Este tem duas funções anti queda: dispositivo base, para prevenir quedas; acessório, para ancoragem de linha de vida, para proteção contra quedas. O equipamento completo pesa 8 Kg_f (80 N) e é composto pelas cinco peças em aço inox de classificação AISI 316 constantes na figura 3.

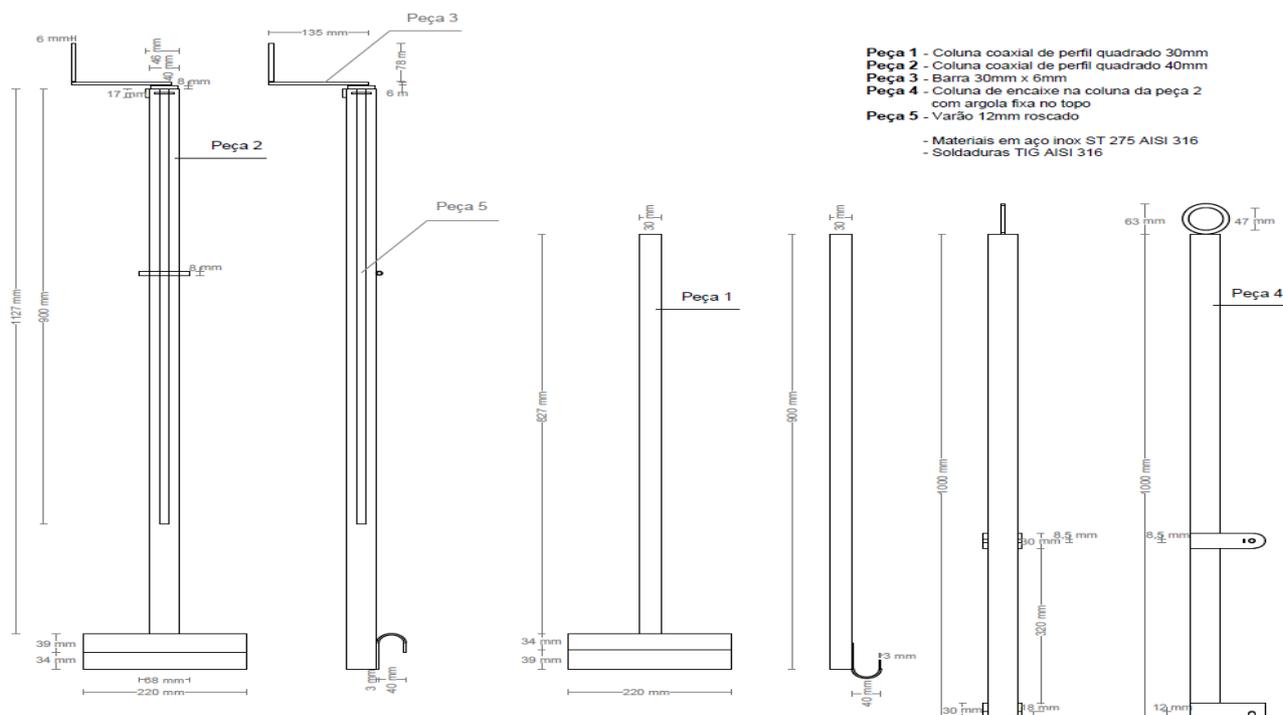


Figura 3 – Projeto de dispositivo anti queda

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O dispositivo-base concretiza os princípios de dimensão, formato e altura adequados à preensão manual aquando do acesso entre os primeiros degraus da abertura e a cota do pavimento. Tem duas calhas côncavas paralelas com largura suficiente para garantir uma boa base de apoio nos degraus onde são aplicadas (figura 4). As calhas, firmemente soldadas a duas colunas coaxiais deslizantes, são ajustadas aos degraus, por ação de manivela colocada no topo da coluna externa (figura 4). O dispositivo mantém-se solidário com os degraus, graças ao aperto de um fuso com passo de rosca fina, que impede o alívio provocado pelas forças aplicadas, pelo utilizador, no dispositivo. O mecanismo permite a fixação a qualquer tipo de degrau em escada normalizada ou não. A função primária cumprida pelo dispositivo é a de prevenir a queda (figura 5). Adicionalmente, também pode proteger de quedas, acoplando um acessório com ponto de ancoragem convenientemente elevado, para fixação de uma linha de vida e/ou um arnês anti queda (figura 6).



Fig.4 – Ajuste do dispositivo aos degraus



Fig.5 – Acesso com apoio no dispositivo



Fig.6 – Utilização com acessórios anti queda

Com o intuito de garantir a estabilidade do conjunto dispositivo+homem, houve que limitar o intervalo de possíveis distâncias entre calhas a uma amplitude que, simultaneamente, não compromettesse a fixação aos degraus, nem a justaposição das colunas indispensável a que se mantenham solidárias, garantindo a estabilidade do conjunto. Assim, o dispositivo é aplicável a qualquer tipo de degraus com espessura máxima de 2,5 cm, e distância mínima de 22 cm entre os respetivos apoios. Os cálculos para análise estrutural do dispositivo, foram feitos para uma situação corrente de afastamento entre degraus de 25 cm. Para tal, foi considerada a aplicação simultânea de uma força horizontal de 0,8 kN na sua parte superior, assim como um peso de 1,08 kN, correspondente ao dispositivo e ao utilizador. O material utilizado é do tipo S275, sendo $f_{yd} = 275$ MPa e $E = 200$ GPa. Com base nisso, procederam-se aos cálculos a seguir elencados.

Momento fletor de cálculo:

$$M_{ed} = 1,5 * 0,8 * 1,127 = 1,35 \text{ kNm}$$

Caraterísticas geométricas da secção transversal do perfil em tubo quadrado R4S 40 x 40 x 4 (mm):

$$I = 12,1 \text{ cm}^4 ; w = 6,07 \text{ cm}^3$$

$$\sigma = m / w = 222\,801 \text{ kN/m}^2, \text{ que é inferior a } 275\,000 \text{ kN/m}^2 \text{ (valor considerado de referência para o material S275)}$$

Cálculo da flecha: no caso presente, a flecha é calculada considerando um encastramento na base e a aplicação da força anteriormente referida. Assim, temos

$$F = p l^3 / (3EI) = 0,8 * 1,127^3 / (3 * 200 * 10^6 * 12,1 * 10^{-8}) = 0,016 \text{ m} = 16 \text{ mm}$$

A deformação alcançada é da ordem de 1/70 do vão, o que é aceitável, por se tratar de uma ação esporádica.

Cálculo da força de arranque no primeiro degrau: considera-se o modelo plano composto por dois apoios afastados entre si de 25 cm (um em cada degrau) e a haste vertical correspondente ao dispositivo; assim, obtemos duas equações de equilíbrio – somatório de momentos (por exemplo no degrau inferior -2) igual a zero e somatório de forças horizontais igual a zero; seja h_1 a reação horizontal no degrau superior e h_2 a reação horizontal no degrau inferior, obtemos:

$$\sum m_2 = 0 \Leftrightarrow 1,5 * 0,8 * (1,127 + 0,25) + h_1 * 0,25 = 0 \Leftrightarrow h_1 = - 6,61 \text{ kN (correspondente a tração no degrau)}$$

$\sum f_x = 0 \Leftrightarrow h_1 + h_2 + 0,8 = 0 \Leftrightarrow -6,61 + h_2 + 0,8 = 0 \Leftrightarrow h_2 = 5,81 \text{ kN (correspondente a compressão no degrau)}$
Com base nos cálculos efetuados, concluímos que a tração no degrau superior é de 6,61 kN – valor relativamente ao qual se deve garantir *in loco* a capacidade de absorção.

Por último, procedemos à análise da estabilidade da calha de fixação e da correspondente soldadura. Esta é efetuada no degrau inferior, por o dispositivo ser aplicado entre o degrau e a parede da caixa, considerando a força $h_2 = 5,81 \text{ kN}$, anteriormente determinada.

Verificação da solda:

$$\text{Perímetro de solda} = 2 * 73 + 2 * 40 = 226 \text{ mm} = 0,226 \text{ m}$$

$$\text{Espessura do cordão de solda} = 5,5 \text{ mm} = 0,0055 \text{ m}$$

$$\text{Tensão de tração no cordão de solda} = 5,81 / (0,226 * 0,0055) = 4674 \text{ kN/m}^2$$

Deste modo concluímos que, desde que o material da solda seja de característica igual ao do material da estrutura (S275), a tração no cordão de solda está largamente garantida na ação de arranque.

Para cálculo do momento fletor na calha de fixação foi considerada a força de arranque antes referida e o braço de 15,5 mm, correspondente à linha média do ponto mais baixo da calha inferior. Relativamente às características geométricas, respeitou-se o indicado nas peças desenhadas: 220 mm de largura; 3 mm de espessura.

$$m = 5,81 * 0,0155 = 0,09 \text{ kNm}$$

$$I = bh^3 / 12 = 0,220 * 0,003^3 / 12 = 4,95 * 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$w = I / y_{\text{máx}} = 4,95 * 10^{-10} / 0,0015 = 3,3 * 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$\sigma = m / w = 272 894 \text{ kN/m}^2$$

O valor obtido, embora abaixo do limite superior de 275 000 kN/m², encontra-se muito próximo, pelo que se deveria equacionar incrementar a espessura da calha de 3 para 4 mm – aspeto que em muito pouco influenciará o peso total do dispositivo. É ainda recomendável criar uma patilha metálica horizontal de apoio contra a parede da caixa, que anulará parcial ou totalmente o momento fletor calculado.

Importa referir que se deveria ainda verificar o momento fletor na calha superior, na zona da união com o perfil vertical. Esse momento é provocado pelas ações verticais mencionadas no início da análise estrutural, contudo, comparando as ações verticais (1,08 kN) com a força de arranque calculada (5,81 kN), admitindo-se que os braços das duas forças são muito semelhantes, conclui-se, sem ser necessário calcular, que a calha verifica o momento na zona referida.

De um modo global, conclui-se que o dispositivo, com a geometria indicada, respeita os limites de segurança do material que o compõe, para as ações pré-definidas. Assim, ressalva-se que o dispositivo assegura o controlo de riscos para que foi concebido, desde que estejam garantidas a resistência e a estabilidade dos degraus em que é instalado.

Quanto às propriedades mecânicas, há que ressaltar a boa qualidade das soldaduras aplicadas e as opções geométricas tomadas pela secção quadrangular das colunas e pelas respetivas dimensões de perfis muito próximas, para que fiquem ajustadas sem folga maior do que a indispensável para o movimento de deslizamento axial das peças 1 e 2. Estas opções técnicas permitiram que os esforços de flexão resultantes das forças aplicadas durante a utilização do dispositivo não resultassem em deformações.

Dos repetidos testes a que o equipamento foi sujeito pelos profissionais desta especialidade, resultou uma aprovação generalizada entre os pares, que testemunharam a facilidade de transporte, de aplicação, a rapidez de colocação e desmontagem, a estabilidade e a resistência do equipamento. Outro resultado, igualmente muito importante, consistiu na confiança e apetência que os utentes revelaram no uso do equipamento. Espontaneamente, este equipamento tornou-se preferido relativamente às soluções anti queda pré-fabricadas disponibilizadas pela Empresa para este tipo de trabalho.

4. NOTAS FINAIS

Foi concebido, desenvolvido e ensaiado um inovador dispositivo portátil anti queda. O dispositivo previne a queda em altura, no acesso entre o pavimento e os primeiros degraus de aberturas verticais conducentes a espaços confinados, porque providencia apoio aos membros superiores. Além da função preventiva, também pode fazer parte da proteção anti queda, como ponto de ancoragem dos equipamentos de proteção contra quedas. Face às alternativas pré-fabricadas disponíveis, esta solução revelou-se mais adequada, por se adaptar a múltiplas configurações de acesso vertical a espaços confinados, através de um dispositivo relativamente leve, fácil de transportar e de aplicar. Os cálculos corroboraram a estabilidade e resistência do dispositivo, e permitiram equacionar melhorias. O facto da própria empresa em que se desenvolveu o dispositivo deter milhares de aberturas de acesso vertical a espaços confinados, deixa antever o potencial para aplicação deste equipamento com uma elevada relação entre o custo e o benefício.

5. AGRADECIMENTOS

É devido reconhecimento à EPAL, por tornar possível o desenvolvimento e estudo técnico do dispositivo anti queda.