

AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DE UMA RODOVIA DE MINAS GERAIS POR MEIO DO EQUIPAMENTO FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER

*STRUCTURAL EVALUATION OF A MINAS GERAIS ROAD BY EQUIPMENT FALLING
WEIGHT DEFLECTOMETER*

SILVA, Rafaella Araújo

Engenheira Civil pelo Centro Universitário de Formiga
rafaellaraujoengcivil@gmail.com

SILVA, Paulo José

Engenheiro Civil pela UFMG, Doutor em Administração pela UFLA, Professor do Curso de
Graduação em Engenharia Civil do Centro Universitário de Formiga
paulojoses@uol.com.br

RESUMO

O valor do sistema rodoviário brasileiro é inquestionável, uma vez que se percebe o aumento em relação ao número de viagens e volume de cargas transportadas pelo país. A logística de escoamento da produção depende, diretamente, da malha rodoviária, sendo que sua qualidade influencia no preço do frete e, conseqüentemente, no custo final da produção, além de ser responsável pela avaliação positiva ou negativa de um segmento rodoviário. Dentre desse contexto, este trabalho procurou analisar a avaliação estrutural de uma rodovia utilizando o equipamento *Falling Weight Deflectometer*, descrevendo como foi feita a avaliação, o cálculo da nota da deflexão e a demonstração dos resultados obtidos. A metodologia adotada retratou a estrutura do pavimento, a avaliação estrutural do pavimento, os métodos de avaliação estrutural, os equipamentos utilizados e as técnicas de restauração para pavimentos asfálticos com problemas estruturais. Com os dados das deflexões levantados em campo, foi possível calcular as notas dos segmentos homogêneos nos anos de 2013 e 2014 e fazer um comparativo das notas, avaliando se houve melhoria estrutural do pavimento de um ano para o outro, e as razões dessa melhoria. Os resultados obtidos com a pesquisa permitiram concluir que quanto maior for a recuperação de um segmento, melhor será sua avaliação.

Palavras-chave: Rodovia. *Falling Weight Deflectometer*. Restauração.

ABSTRACT

The value of the road system in Brazil is unquestionable once realized the increasing number of travels and the volume of loads transported into the country. The flow of the logistics process depends directly on the highway network, and its quality influences the freight price and consequently the total cost of production. In addition to this, the quality is responsible for positive or negative evaluation of a road segment. In this context, this research seeks to analyze the structural evaluation of the highway using equipment called *Falling Weight Deflectometer*, describing how the evaluation was done, the calculation of the deflection rate, and shows the

results. The methodology adopted depicts the type of pavement structure, structural evaluation of the pavement, methods of structural assessment, the equipment to be used, and the restoration techniques for asphalt pavements with structural problems. With all of this data from the deflection it was possible to calculate the deflection rate of the homogeneous segment of 2013 and 2014. It was then possible to compare these annual rates, evaluating if there was a structural improvement of the pavement from one year to other, and the reasons for improvements. The results obtained from research led to the conclusion that the greater recovery of a segment, the better the evaluation.

Key words: Highway, Falling Weight Deflectometer, restoration

1 INTRODUÇÃO

O Brasil utiliza o modal rodoviário para transportar a maior parte de suas cargas e passageiros. Segundo a CNT (2014), as rodovias são responsáveis por cerca de 60% do transporte de carga e por mais de 90% do deslocamento de passageiros. No intuito de garantir melhores condições de deslocamento, tanto de pessoas quanto de produtos, são desenvolvidas técnicas de restauração que visam garantir a solidez dos pavimentos em relação aos esforços advindos do tráfego, propiciando aos usuários conforto, economia e segurança.

Para desenvolver uma alternativa de restauração deve ser feita uma avaliação do pavimento. Esta avaliação pode ser funcional ou estrutural. A avaliação funcional tem como objetivo avaliar a superfície do pavimento, como seu conforto e segurança. A avaliação estrutural, por sua vez, avalia a estrutura do pavimento e sua capacidade de resistir ao tráfego de veículos e, normalmente, é realizada por meio de medidas de deflexões, sendo considerada essencial no projeto de restauração de pavimento.

O presente trabalho analisou os dados de deflexão obtidos por meio do equipamento *Falling Weight Deflectometer* (FWD), que é uma das mais importantes ferramentas para a avaliação estrutural do pavimento, onde os resultados obtidos permitem a realização de análises esclarecedoras no comportamento estrutural do trecho.

2 AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO

Pavimento é uma estrutura composta por camadas sobrepostas de diferentes materiais compactados, adequado para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e ao mínimo custo. Cada camada do pavimento possui uma ou mais funções específicas, que devem proporcionar aos veículos, em qualquer ação climática, condições de rolamento e suporte (BALBO, 2007).

De acordo Hass, Hudson e Zaniwski et al¹ (1994 apud LUÍS, 2009), as avaliações de pavimento fornecem informações sobre o estado atual do pavimento, suas condições estruturais e sua capacidade de oferecer conforto e segurança aos usuários durante o tráfego de veículos. Estas informações são utilizadas no planejamento e projeto de serviço de gerência de pavimentos, conduzindo os serviços de manutenção e restauração da rodovia, bem como, auxiliando para a melhoria da tecnologia de projeto, construção e manutenção.

A avaliação estrutural está relacionada à capacidade de carga do pavimento. A repetição das cargas resulta nos defeitos estruturais, que são vinculados às deformações elásticas ou recuperáveis; e plásticas ou permanentes. As deformações elásticas são avaliadas por meio dos equipamentos conhecidos como defletômetros, responsáveis por medirem as “deflexões” que são os deslocamentos verticais do pavimento. (BERNUCCI et al., 2008). A deflexão de um pavimento é a resposta das camadas estruturais e do subleito ao se aplicar cargas. Quando o pavimento é submetido a uma carga em um ponto (ou uma área) todas as camadas fletem devido às tensões e as deformações geradas pelo carregamento (BALBO, 2007). O valor da deflexão diminui em cada camada de acordo com a profundidade e o distanciamento do ponto de onde se aplicou a carga e depende ainda do módulo de elasticidade das camadas. Os pavimentos mais saudáveis, estruturalmente, fletem menos que os pavimentos mais debilitados. Por meio da diferença na resposta dos pavimentos é que se torna possível avaliar o seu desempenho estrutural, para esta avaliação utiliza-se os equipamentos de ensaios não-destrutivos, como o *Falling Weight Deflectometer* (FWD) (DNIT, 2006).

3 ENSAIOS E CÁLCULOS

No presente estudo, apresenta-se uma análise do levantamento defletoométrico do pavimento de uma rodovia de Minas Gerais, utilizando-se o equipamento “*Falling Weight Deflectometer* – FWD”. As medidas foram realizadas de acordo com a norma do DNER atual DNIT - Determinação das deflexões utilizando defletoométrico de impacto tipo “*Falling Weight Deflectometer* – FWD”, pelo Procedimento DNER PRO - 273/96. (DNER, 1996). Os levantamentos defletoométricos foram obtidos por toda extensão da rodovia em estudo. Para uma melhor avaliação e obtenção dos resultados, a rodovia foi dividida em 20 segmentos e estes subdivididos em subsegmentos.

¹ HAAS, R; HUDSON, W. R; ZANIEWSKI, J. Modern Pavement Management. Malabar, 1994

Após o “*Falling Weight Deflectometer (FWD)*” percorrer todo o trecho, obtendo as deflexões pontuais (D_0) a cada Km, calculou-se a média, o desvio padrão, a deflexão característica e o coeficiente de variação (CV) dos subsegmento de cada um dos vinte segmentos homogêneos “SH”. Os valores de D_0 obtidos com o FWD foram convertidos para a deflexão Viga *Benkelman*, por meio da correlação recomendada pelo Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. (DNIT, 2006):

a) Para deflexões características $DFWD < 85 \times 10^{-2}$ mm

$$DB = 20,645 (DFWD - 19)0,351$$

b) Para deflexões características $DFWD > 85 \times 10^{-2}$ mm

$$DB = 8,964 (DFWD - 60)0,715$$

Em que:

- DB = deflexão característica obtida por viga Benkelman

- DFWD = deflexão característica obtida por FWD

Com o resultado da deflexão característica para Viga Benkelman, multiplica-se pela extensão do subsegmento [D_0 (viga) x EXT.]

Classifica-se os trechos dos subsegmentos em dois tipos de pavimento: CBUQ e TSD, onde após essa classificação multiplica-se a extensão do trecho pela deflexão característica [D_0 (viga) x EXT] dos subsegmentos, e o produto destes são somados, de acordo com as formulas abaixo:

$$1 - CBUQ = [Extensão_{subsegmento\ n1} \times (D_0\ (viga)\ x\ EXT.\ subsegmento\ n1)] + [Extensão_{subsegmento\ n2} \times (D_0\ (viga)\ x\ EXT.\ subsegmento\ n2)] + [Extensão_{subsegmento\ nn} \times (D_0\ (viga)\ x\ EXT.\ subsegmento\ nn)]$$

$$2 - TSD = [Extensão_{subsegmento\ n1} \times (D_0\ (viga)\ x\ EXT.\ subsegmento\ n1)] + [Extensão_{subsegmento\ n2} \times (D_0\ (viga)\ x\ EXT.\ subsegmento\ n2)] + [Extensão_{subsegmento\ nn} \times (D_0\ (viga)\ x\ EXT.\ subsegmento\ nn)]$$

Esta soma deverá ser dividida pela soma da extensão dos mesmos tipos de pavimentos, de acordo com as fórmulas abaixo:

$$1 - Deflexão\ média\ CBUQ = CBUQ + (Extensão_{subsegmento\ n1} + Extensão_{subsegmento\ n2} + Extensão_{subsegmento\ nn})$$

$$2- Deflexão\ média\ TSD = TSD+ (Extensão_{subsegmento\ n1} + Extensão_{subsegmento\ n2} + Extensão_{subsegmento\ nn})$$

Após encontrados os valores das Deflexões medias para os tipos de pavimentos CBUQ e TSD de cada segmento, é atribuído uma nota final do segmento em BOM, REGULAR OU RUIM, dadas pelas seguintes expressões:

$D_{SH} < D_{ADM}$	BOM
$D_{ADM} < D_{SH} < 1,4 \cdot D_{ADM}$	REGULAR
$D_{SH} > 1,4 \cdot D_{ADM}$	RUIM

Sendo:

- DSH: Deflexão Média (0,01 mm) do Segmento, calculado na coluna D da planilha “Nota Final do Segmento”.

- DADM: Deflexão Admissível, calculado pela expressão DNER PRO 269/94:

a) $\text{Log}(D_{ADM}) \leq 3,148 - 0,188 \cdot \text{Log}(N)$ para pavimentos tipo CBUQ

b) $(\text{Log}(D_{ADM}) \leq 3,01 - 0,176 \cdot \text{Log}(N))$ para pavimentos tipo TSD

Em que : N = número de solicitações de eixos equivalentes ao eixo padrão de 8,2t

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os processos de cálculos e notas descritos anteriormente foram realizados para os 20 segmentos nos anos de 2013 e 2014, nota-se que alguns segmentos obtiveram notas distintas de um ano para o outro. No intuito de avaliar as causas dessas diferenças, esses segmentos foram submetidos a uma análise individual. Para servir de parâmetro comparativo foram analisados os segmentos 7, 8, 12 e 18. Os demais segmentos, que apresentaram notas distintas, não foram analisados, por serem considerados similares aos segmentos estudados.

4.1 Análise do Segmento 7

O segmento 7 possui 11,7 Km de extensão, as notas finais do segmento nos anos de 2013 e 2014 são apresentados na TAB 1.

Tabela 1 - Notas finais do segmento 7 nos anos de 2013 e 2014

2013				2014			
Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D_{SH}	Nota	Nota do Segmento	Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D_{SH}	Nota	Nota do Segmento
CBUQ	84	Regular	Regular	CBUQ	130	Ruim	Ruim
TSD	93	Bom	Regular	TSD	113	Bom	Ruim

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Comparando as notas do segmento 7 nos anos de 2013 e 2014, é possível observar que houve uma piora de um ano para o outro, que justifica-se pelo fato de não ter sido feita

nenhuma obra de recuperação. Além disso, o pavimento sofreu desgaste, provavelmente, provocado por intempérie, excesso de carga e pelo fluxo do trânsito ao longo dos dois anos, impactando, negativamente, na nota obtida.

4.2 Análise do Segmento 8

O segmento 8 possui 21,1 Km de extensão, as nota finais do segmento nos anos de 2013 e 2014 são apresentados na TAB 2.

Tabela 2 - Notas finais do segmento 8 nos anos de 2013 e 2014

2013				2014			
Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D _{SH}	Nota	Nota do Segmento	Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D _{SH}	Nota	Nota do Segmento
CBUQ	93	Regular	Regular	CBUQ	59	Bom	Bom
TSD	83	Bom		TSD	54	Bom	

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Comparando as notas do segmento, foi possível verificar um aumento positivo na avaliação. O motivo deste aumento foi uma restauração de 68% deste trecho em 2014. Essa restauração foi feita por meio de Tratamento Superficial Duplo (TSD), impactando, positivamente, na nota obtida.

4.3 Análise do Segmento 12

O segmento 12 possui 46,3 Km de extensão, as notas finais do segmento nos anos de 2013 e 2014 são apresentados na TAB 3.

Tabela 3 - Notas finais do segmento 12 nos anos de 2013 e 2014

2013				2014			
Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D _{SH}	Nota	Nota do Segmento	Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D _{SH}	Nota	Nota do Segmento
CBUQ	76	Regular	Regular	CBUQ	68	Bom	Bom
TSD	78	Bom		TSD	55	Bom	

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Comparando as notas do segmento 12 pertinentes aos anos: 2013 e 2014, foi possível observar que no ano de 2013, esse segmento obteve nota regular, enquanto no ano seguinte sua avaliação melhorou para bom. Essa melhoria na avaliação pode ser justificada pela restauração de 51% deste pavimento, feita por meio de Tratamento Superficial Duplo (TSD).

4.4 Análise do Segmento 14

O segmento 14 possui 4,7 Km de extensão, as notas finais do segmento nos anos de 2013 e 2014 são apresentados na TAB 4:

Tabela 4 - Notas finais do segmento 14 nos anos de 2013 e 2014

2013				2014			
Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D _{SH}	Nota	Nota do Segmento	Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D _{SH}	Nota	Nota do Segmento
CBUQ	121	Ruim	Ruim	CBUQ	86	Regular	Regular
TSD	144	Regular		TSD	71	Bom	

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Comparando as notas do segmento 14 nos anos de 2013 e 2014, observou-se que no ano de 2013 o segmento obteve nota ruim e no ano de 2014 a nota aumentou para regular. As razões que impactaram, positivamente, nesse resultado foram a restauração feita por meio da reciclagem do pavimento. Porém, observa-se que a nota não obteve um aumento significativo. Isto ocorreu em razão da restauração não ter sido feita na totalidade do trajeto, sendo que a porcentagem referente à restauração foi na ordem de 58%, enquanto o trecho não restaurado representou 42%, justificando a nota obtida.

4.5 Análise do Segmento 18

O segmento 18 possui 14,3 Km de extensão, as notas finais do segmento nos anos de 2013 e 2014 são apresentados na TAB 4:

Tabela 5 - Notas finais do segmento 18 nos anos de 2013 e 2014

2013	2014
------	------

Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D_{SH}	Nota	Nota do Segmento	Tipo de Pavimento	Deflexão Média (0,01 mm) - D_{SH}	Nota	Nota do Segmento
CBUQ	118	Ruim	Ruim	CBUQ	57	Bom	Bom
TSD	113	Bom		TSD	69	Bom	

Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

Comparando as notas do segmento 18 nos anos de 2013 e 2014 observou-se que no ano de 2013 o segmento obteve nota ruim, enquanto em 2014 sua nota aumentou para bom. Com 14,3 km de extensão, o segmento 18 foi um dos poucos que obteve um aumento significativo da nota. O motivo deste aumento foi uma restauração feita por meio da reciclagem do pavimento num percentual de 86% do trecho.

4.6 Análise dos demais segmentos

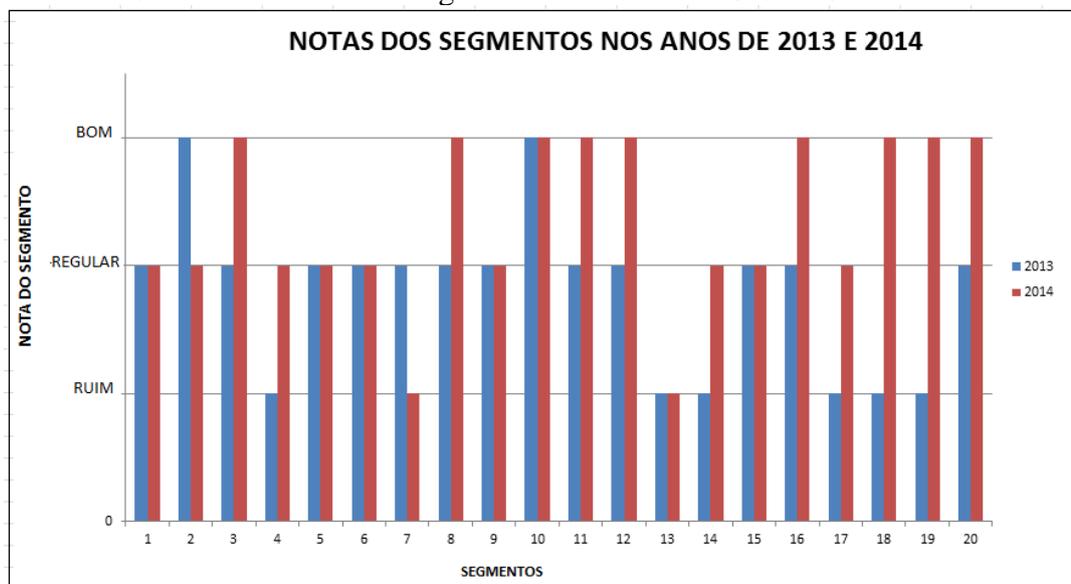
Os demais segmentos que não foram analisados, anteriormente, foram submetidos a uma análise sintética. Vale ressaltar que eles foram aglutinados de acordo com suas características similares, sendo os resultados descritos a seguir:

- a) Os segmentos 1, 5, 6, 9 e 15 mantiveram suas notas em REGULAR nos dois anos. De um ano para o outro, ano o pavimento suportou as solicitações oriundas do tráfego não ocorrendo a baixa da sua nota, entretanto essa nota não sofreu acréscimo, em decorrência do fato de não ter havido nenhuma obra de restauração do pavimento.
- b) O segmento 7 piorou sua nota de REGULAR para RUIM, enquanto o segmento 2 de BOM passou para REGULAR. As razões, que justificam esse índice inferior, foram a inexistência de obras de restauração que possibilitassem a correção dos desgastes sofridos, provocados pelo tráfego de cargas e chuva.
- c) Como o segmento 8 e 12, os segmentos 3, 11, 12, 16 e 20 aumentaram suas notas de REGULAR para BOM, o motivo deste aumento foram restaurações feitas em seus trechos que permitiram uma melhora na estrutura dos pavimentos.
- d) Assim como o segmento 14, os segmentos 4 e 17 aumentaram suas notas de RUIM para REGULAR, porém este aumento não foi tão significativo. O motivo é que a restauração ocorreu em uma pequena porcentagem do trecho.

- e) O segmento 10 foi avaliado como BOM nos dois anos, apesar do clima, fluxo de trânsito e transporte de cargas, sendo que o pavimento suportou bem as solicitações, não abaixando sua nota.
- f) O segmento 13 obteve nota RUIM nos dois anos, o indicado é que no ano de 2014 o pavimento passasse por uma restauração em todo seu trecho, assim sua nota em 2014 aumentaria para BOM, o que não ocorreu
- g) Os segmentos 18 e 19 obtiveram um aumento significativo da nota, aumentando de RUIM para BOM, o motivo para isto foram as obras de restauração feitas em uma maior parte dos seus trechos.

O GRAF. 1 apresenta uma síntese da variação dos resultados obtidos pelos segmentos nos anos de 2013 e 2014. Por meio dele é possível perceber que 35% dos segmentos mantiveram a mesma avaliação nos dois anos. Enquanto 55% dos segmentos aumentaram a nota avaliativa de um ano para outro. O percentual de notas que decaíram de um ano para o outro foi de 10%.

Gráfico 1 - Notas dos segmentos nos anos de 2013 e 2014



Fonte: Elaborado pelo autor (2015)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização deste trabalho foi possível comprovar a importância de realizar a avaliação estrutural do pavimento. As avaliações dos segmentos demonstraram uma relação característica entre a nota obtida e o grau de restauração desse segmento. Algumas conclusões

foram possíveis, graças ao acompanhamento de campo, que permitiu sistematizar um comparativo de dois anos desse pavimento.

Os segmentos que as notas diminuíram de 2013 para 2014, foram aqueles que não passaram por nenhuma obra de restauração e que, provavelmente, sofreram desgastes provocados por intempéries, trânsito e excesso de cargas. Os segmentos que não obtiveram um aumento significativo na avaliação de um ano para o outro, foram aqueles nos quais a restauração não atingiu uma porcentagem expressiva do trecho. Os segmentos que obtiveram uma melhor avaliação, aumentando, sistematicamente, suas notas, passando do critério ruim para o critério bom, foram aqueles, nos quais a restauração abrangeu a maior parte do seu trecho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI et al., **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABED A, 2008.

CASTRO, L. N. **Reciclagem a frio “in situ” com espuma de asfalto**. 2003. Tese (Mestrado em Engenharia Civil). COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2003.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de rodovias 2014**: relatório gerencial. Brasília: CNT, 2014.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGENS DO ESTADO DO PARANÁ: DER-PR/2006: **Pavimentação: Micro revestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero** – DER/PR, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER 273/1996: **PRO. Determinação das deflexões utilizando deflectométrico de impacto tipo “Falling Weght Deflectometer – FWD”**.DNER, 1996.

_____. **DNER 309/97**: ES: pavimentação: tratamento superficial duplo.DNER, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de restauração de pavimentos asfálticos**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

_____. **DNIT 031/2004**: ES: pavimentos flexíveis: concreto asfáltico: especificação de serviço.DNIT, 2004.

_____. **DNIT 035/2005**: ES: pavimentos flexíveis micro revestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero: especificação de serviço. DNIT, 2005.

LUÍS, A. D. **Utilização do equipamento *Falling Weight Deflectometer* para medição de deflexão recuperável para diferentes tipos de pavimentos asfálticos.** 2009. 209p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

MEDINA J.; MOTTA, L. M. G. **Mecânica dos pavimentos.** Rio de Janeiro: Interciência, 2015.

SENÇO, W. de. **Manual de técnicas de pavimentação.** São Paulo: Pini, 2007.