ANÁLISE DE PARÂMETROS DE IRREGULARIDADE LONGITUDINAL E RESPOSTAS DE ACELERAÇÃO VERTICAL EM PAVIMENTOS AEROPORTUÁRIOS

Lucas Moreira Magalhães, Francisco Heber Lacerda de Oliveira
Universidade Federal do Ceará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes

***E-mail do autor de correspondência**: lucasmoreiramagal@alu.ufc.br

PAPER ID: SIT203

RESUMO

A irregularidade longitudinal é um dos principais parâmetros relacionados ao conforto das operações de pousos, decolagens e taxiamento em pavimentos aeroportuários. O uso desse parâmetro permite definir procedimentos racionais para tomada de decisão de estratégias de manutenção e reabilitação de um Sistema de Gerência de Pavimentos Aeroportuários. O crescimento da aviação civil na última década gerou a demanda por maiores cuidados relacionadas à segurança operacional de pousos e decolagens, pois uma parcela considerável das ocorrências de incidentes e acidentes com aeronaves acontecem em solo durante essas fases de voo. Valores além do limite regulamentado para a irregularidade longitudinal podem resultar em deslocamentos verticais excessivos nas aeronaves, provocando problemas na leitura de instrumentos de navegação da cabine do piloto, aumentar a distância de frenagem da aeronave e, em casos extremos, proporcionar avarias na aeronave e afetar o bem-estar dos passageiros. Dessa maneira, este trabalho visa analisar índices de irregularidade longitudinal e sua pertinência com o atual parâmetro de irregularidade regulamentado para pistas aeroportuárias brasileiras. Avaliou-se, por meio de correlações, os valores médios obtidos do *International Roughness Index* (IRI), parâmetro atualmente regulamentado no Brasil, e o *Runway Roughness Index* (RRI), conjuntamente à valores de aceleração vertical na cabine dos pilotos (VACP), para 9 perfis longitudinais de diferentes condições de irregularidade, dez velocidades e duas aeronaves (Boeing 737 e Boeing 747). Os resultados indicam que o IRI demonstra valores conservadores quanto à classificação de condição de irregularidade da pista em relação ao RRI, que acompanha os valores de VACP das aeronaves. Ainda, os valores de RRI, referentes a variação do tipo de aeronave e velocidade desenvolvida, não são bem explicadas pelo IRI, tendo valores de coeficiente de correlação (r) reduzidos para velocidades e severidade de irregularidade maiores.

Palavras-chave: Irregularidade Longitudinal; IRI; RRI; Aceleração Vertical.

1. INTRODUÇÃO

O processo de manutenção e reabilitação (M&R) em pavimentos aeroportuários requer informações da sua condição funcional que subsidiem a tomada de decisão pelos operadores, para manter níveis apropriados de segurança das operações. Nesse contexto, a irregularidade longitudinal é uma característica que deve ser avaliada em pavimentos aeroportuários, pois está associada a impactos na segurança das operações em solo e na vida útil da estrutura (Liu *et al*., 2021), sendo comum sua utilização na estruturação de Sistemas de Gerência de Pavimentos Aeroportuários.

A irregularidade longitudinal pode ser descrita como os desvios verticais de um pavimento em relação a um plano de referência, com dimensões características que podem afetar a dinâmica da aeronave, a qualidade da viagem e a carga dinâmica do pavimento, podendo causar vibrações excessivas na cabine dos pilotos e trazer riscos às aeronaves e tripulantes (ASTM, 2018). De forma diferente a avaliação para rodovias, nas quais o conforto ao rolamento é determinante nos limites de índices de desempenho, para pavimentos aeroportuários, o conforto dos passageiros, mesmo sendo importante, frequentemente não é significante, pelo pequeno tempo de contato ao solo em relação ao total do voo, importando o controle direcional do piloto da aeronave (Emery, Hefer e Horak, 2015).

Apesar de sua importância, a avaliação da irregularidade de pavimentos aeroportuários é complexa, devido às diferenças nas dimensões e desempenho das aeronaves. A resposta à irregularidade varia conforme o modelo da aeronave, método de operação, peso, configuração do trem de pouso e sua velocidade quando encontra um solavanco (*bump*) ou depressão. *Bumps* são eventos isolados de alteração da elevação em distância de até 100 metros, relativamente curtas em relação ao perfil. A depender da velocidade da aeronave e a elevação, os *bumps* podem provocar reações dinâmicas cuja energia não é completamente absorvida pela suspensão da aeronave, sendo sentida por tripulantes e passageiros (FAA, 2009).

Um índice de irregularidade, regulamentado no Brasil como parâmetro de avaliação, é o *International Roughness Index* (IRI), desenvolvido para pavimentos rodoviários, com patrocínio do Banco Mundial, após o *International Road Roughness Experiment* (IRRE) (Sayers e Karamihas, 1998). Segundo Sayers, Gillespie e Patterson (1986), o IRI é significativo como um indicador da capacidade de serviço do pavimento, independentemente do tipo de equipamento utilizado para medi-lo, não importando o local de medição, sendo transferível geograficamente, e estável no tempo.

Todavia, o uso do parâmetro IRI para a avaliação da irregularidade em pavimentos aeroportuários mostra-se inapropriado, pois deve ser avaliado em função das características físicas e aerodinâmicas das aeronaves, porém seu modelo matemático e critérios técnicos não consideram o efeito da resposta dinâmica da aeronave (Durán; Fernandes Jr., 2020). Vários autores não recomendam a utilização do IRI em pavimentos aeroportuários (Chen e Chou, 2004; Emery *et al*., 2015; Loprencipe *et al*., 2019; Tian *et al*., 2021), particularmente em virtude das variações da estrutura, velocidades e dinâmica em veículos automotores e aeronaves (Ling *et al*., 2017; Cardoso *et al*., 2018).

Um dos fatores avaliados para quantificar a severidade da irregularidade longitudinal em pavimentos aeroportuários é a aceleração vertical causadas a aeronaves. A influência da aceleração sobre as aeronaves se distingue do âmbito rodoviário, sendo as aeronaves sensíveis aos comprimentos de onda longos e curtos (Ling *et al*., 2017). Segundo Gerardi (2007), em perfis longitudinais, áreas com comprimentos de onda maiores causam uma resposta da estrutura rígida da aeronave como um todo, provocando danos por fadiga.

Diante das limitações observadas em índices atualmente utilizados na avaliação da irregularidade longitudinal, a concepção de um novo método tem sido o foco dos esforços da *Federal Aviation Administration* - FAA, com intuito de abranger as acelerações verticais das aeronaves em seu cálculo. Como resultado, um novo índice denominado *Runway Roughness Index* (RRI) está sendo desenvolvido, baseado parcialmente no *Boeing Bump Index* (FAA, 2021). O RRI é definido em termos de valores de simulação de acelerações verticais na cabine dos

pilotos (*Weighted Root-Mean Square Vertical Accelerations at the Cockpit* - WtRMS-VACP) para a aeronave Boeing 737-800 quando essa se desloca a uma velocidade de operação constante de aproximadamente 185 km/h (100 nós), comparadas à valores reais coletados de uma aeronave Boeing 727.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo avaliar os efeitos da irregularidade longitudinal de pistas de pouso e decolagem para o IRI e a aceleração vertical da cabine dos pilotos de aeronaves (*Vertical Accelerations at the Cockpit* - VACP), por meio do índice RRI, para duas aeronaves distintas e para 10 velocidades distintas. Os valores de IRI e RRI serão comparados de forma gráfica e estatística, avaliando o limite regulamentado de IRI e as classificações de RRI, que se aproximam dos valores limite apontados pelo meio científico de acelerações verticais relacionados a reclamação de pilotos devido à irregularidade da pista (0,4 g) (Morris & Hall, 1965).

2. MÉTODO

As seguintes etapas metodológicas foram executadas: (i) definição dos perfis longitudinais a serem utilizados; (ii) processamento de dados de irregularidade longitudinal e (iii) análise comparativa entre parâmetros de irregularidade para as diferentes condições de velocidade, espaçamento e aeronaves.

A seleção dos perfis longitudinais de elevação foi feita a partir de um banco de dados da FAA, utilizados para pesquisas de irregularidade longitudinal conjunto entre avaliação objetiva e subjetiva em simuladores de voo Boeing 737-800 e Airbus A330-200, contando com 37 perfis de pistas de pouso e decolagem no total (FAA, 2017; 2020). Os perfis selecionados foram baseados em seus valores de IRI médio e separados em 3 grupos de severidade de irregularidade longitudinal: Bom, que inclui os três melhores resultados de IRI médio dentre os 37 perfis; Intermediário, sendo esses três perfis posicionados no centro da relação de perfis; e Ruim, incluindo os 3 perfis com maiores valores de IRI médio. A Tabela 1 expõe os perfis selecionados, com código B para Bom, I para Intermediário e R para Ruim, referentes a severidade de irregularidade longitudinal das pistas estudadas.

Tabela 1 Perfis longitudinais selecionados

Perfil	*Extensão (m)*	*IRI médio*
B1	1583,3	0,708
B2	1581,0	0,739
B3	1559,8	1,042
I1	1552,5	1,763
I2	1586,3	2,009
I3	1583,5	2,174
R1	1583,8	4,923
R2	1584,5	5,517
R3	1585,3	5,885

Os dados utilizados foram obtidos por meio de processamento dos perfis pelo *software* ProFAA, versão 20_10-14-13. Essa versão foi usada por contar com as aeronaves selecionadas para esse trabalho (B737- 800 e B747-SP) em sua biblioteca, garantindo características de estrutura e arranjo de trens de pouso diferenciados para comparação do parâmetro de aceleração vertical (RRI). Os valores de IRI e RRI foram obtidos para seções de 40 metros, a fim de discretizar os valores sobre a avaliação da condição do pavimento, em relação os valores limites regulamentados e indicados pela literatura, sendo utilizados 39 segmentos para cada pista analisada.

O valor de IRI foi obtido para cada pista e para seu tipo de segmentação, por seu valor estar associado apenas ao perfil longitudinal da pista analisada. Além desses parâmetros, o RRI, a velocidade e o tipo de aeronave foram variados, por seu valor estar associado ao WtRMS-VACP obtido na simulação do ProFAA. Todos os

valores obtidos das simulações utilizados na análise são valores médios dos índices. As velocidades usadas no processamento dos perfis foram:

- 20 nós (37 km/h)
- 40 nós (74 km/h)
- 60 nós (111 km/h)
- 80 nós (148 km/h)
- 100 nós (185 km/h)
- 120 nós (222 km/h)
- 140 nós (260 km/h)
- 160 nós (296 km/h)
- 180 nós (333 km/h)
- 200 nós (370 km/h)

O valor de RRI, utilizado para as análises, pode ser calculado por meio da equação (1):

$$RRI \equiv 0{,}378\left[\frac{s^2}{m}\right] xWtRMS[\frac{m}{s^2}] \qquad (1)$$

Valores limites foram propostos na concepção do RRI, e foram interpretados como uma matriz colorida neste trabalho, como uma ferramenta de análise visual para as seções avaliadas. A matriz está exposta na Tabela 2.

Tabela 2 Matriz colorida de limites de RRI

Intervalo de RRI	*Classificação*
0 – 0,37	Manutenção geral
0,37 - 0,75	Programar manutenção
0,75 – 1,0	Reparo
1,0 – 1,5	Excessivo
> 1,5	Inaceitável

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Analisando as diferenças apresentadas nas comparações entre as velocidades da aeronave em relação ao seu impacto sobre os valores de RRI, observa-se que o IRI, conforme o aumento da severidade da irregularidade longitudinal, não demonstra alteração em seus valores da mesma forma que o parâmetro RRI. Os Gráfico 1, Gráfico 2 e Gráfico 3 expõem os valores de RRI e IRI para cada conjunto de severidade de pistas: Bom, Intermediário e Ruim.

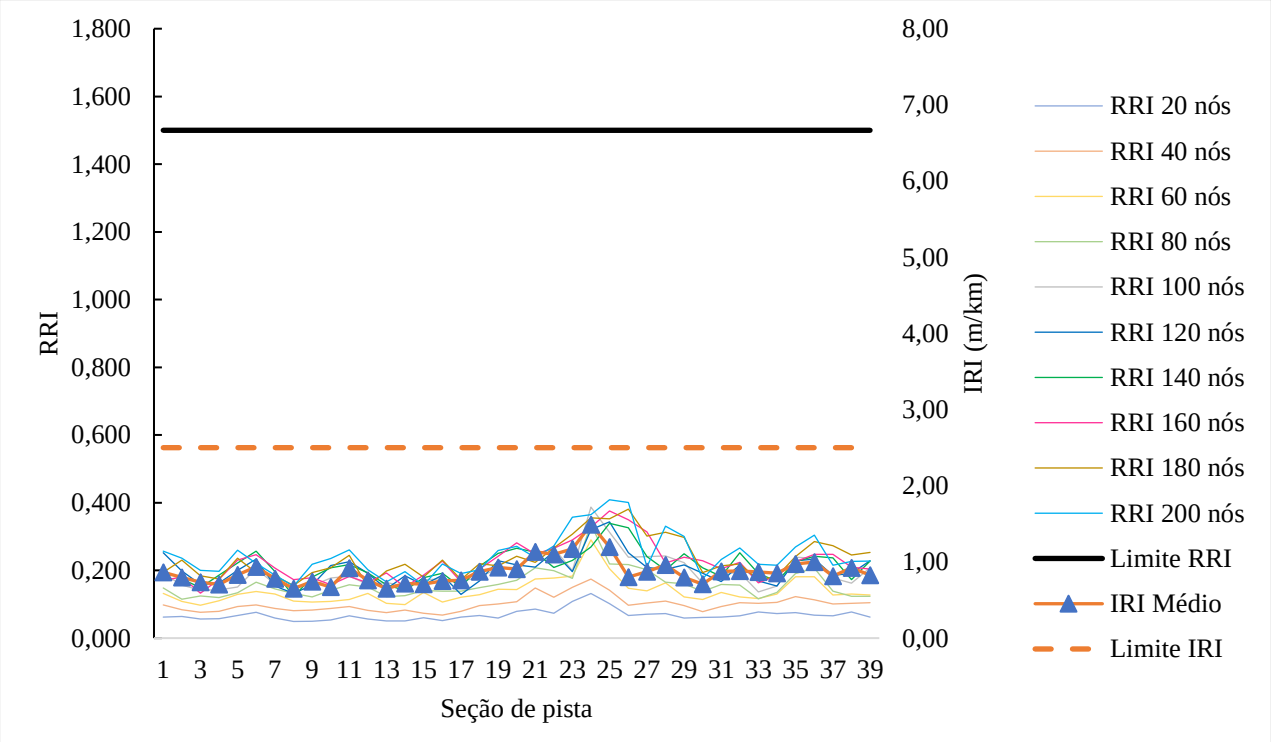

Gráfico 1 Valores de IRI e RRI para o conjunto de pistas de severidade Bom, para o B737-800

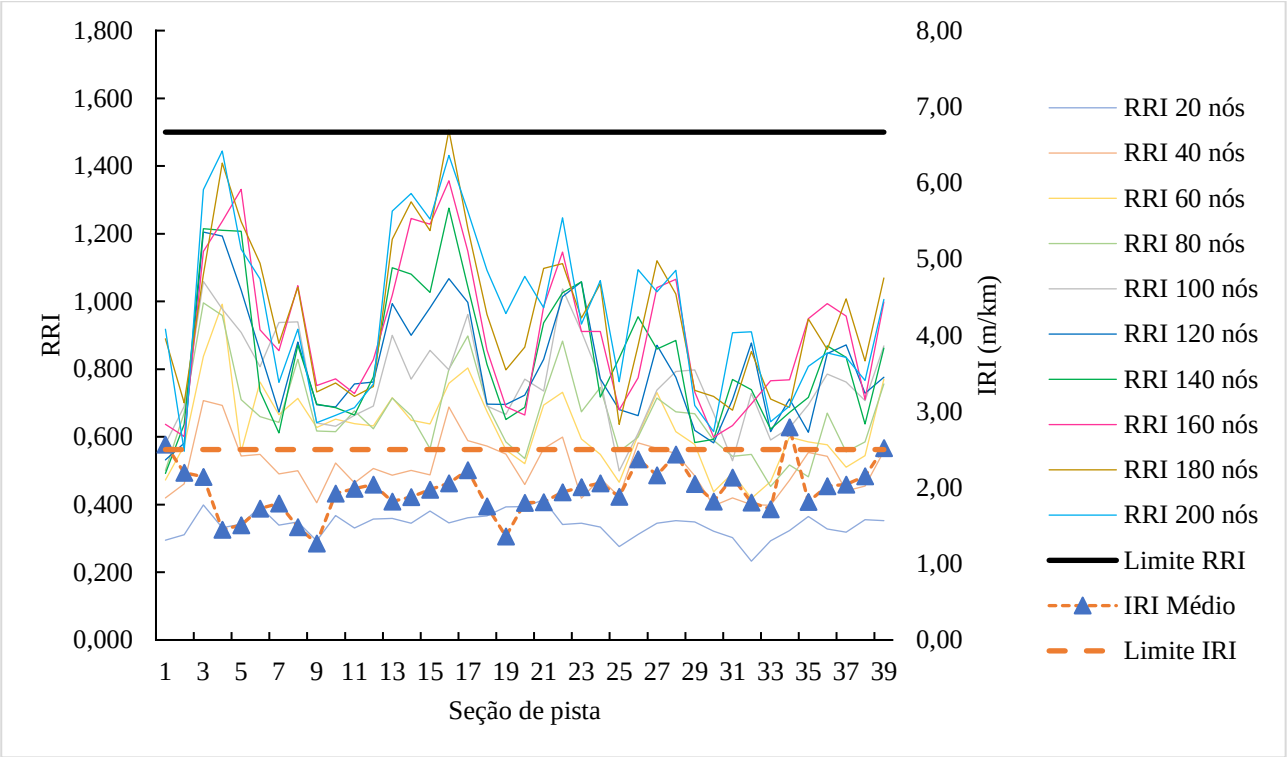

Gráfico 2 Valores de IRI e RRI para o conjunto de pistas de severidade Intermediário, para o B737-800

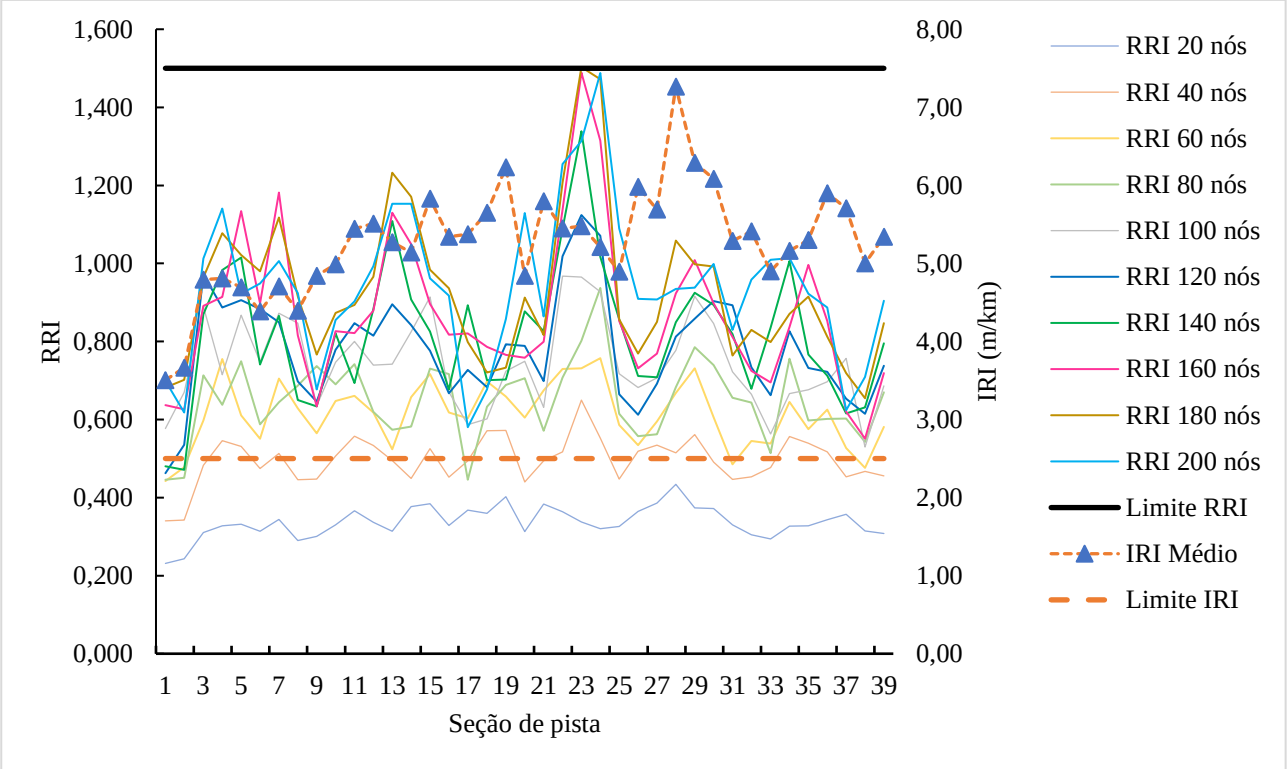

Gráfico 3 Valores de IRI e RRI para o conjunto de pistas de severidade Ruim, para o B737-800

No Gráfico 1, os valores médios para IRI não ultrapassaram o limite regulamentado pela ANAC (2021) de 2,5 m/km. Para os valores de RRI, eles foram crescentes conforme a acréscimo de velocidade da aeronave. Observou-se, também, que os picos dos valores de IRI coincidiram parcialmente com os picos de valores médios de RRI, o que indica uma aparente correlação ente os índices, para condições de baixa severidade de irregularidade longitudinal, o que aparenta reduzir-se com o aumento da severidade. Nos Gráfico 2 e Gráfico 3, os valores de IRI e RRI cresceram conforme o aumento da severidade da condição de

irregularidade longitudinal das pistas dos grupos Intermediário e Ruim. As tabelas 3, 4 e 5 expõem a comparação entre as correlações entre IRI e RRI para as aeronaves B737-800 e B747 SP e para as três condições de severidade de pista.

Tabela 3 Coeficiente de correlação (r) entre IRI e RRI, para as severidades e aeronaves avaliadas

Aeronave	*B737-800*			*B747 SP*		
Velocidade	*Bom*	*Intermediário*	*Ruim*	*Bom*	*Intermediário*	*Ruim*
20 nós	0,9246	0,8923	0,8716	0,8753	0,7602	0,7690
40 nós	0,9473	0,8620	0,5784	0,7702	0,5713	0,3258
60 nós	0,9204	0,7236	0,4060	0,7901	0,6815	0,3938
80 nós	0,8224	0,6569	0,3048	0,5019	0,6017	0,2207
100 nós	0,8314	0,6496	0,1826	0,7286	0,4882	0,1243
120 nós	0,7229	0,5835	0,2415	0,6905	0,4781	0,2144
140 nós	0,5775	0,4602	0,2457	0,5946	0,4546	0,2694
160 nós	0,6600	0,5035	0,1427	0,6196	0,4784	0,1869
180 nós	0,6217	0,4355	0,1209	0,6157	0,5035	0,1523
200 nós	0,7027	0,3405	0,0974	0,6349	0,5364	0,1302

Observando a Tabela 3, percebe-se que a correlação para a severidade Bom tem valores maior que para as outras severidades, como foi evidenciado na análise dos Gráfico 1,Gráfico *2* e Gráfico 3. Além disso, com o acréscimo da velocidade avaliada, a correlação decresce. Isso pode ser explicado pela natureza de elaboração do IRI, que foi desenvolvido para ser levantado por veículos a 80 km/h, velocidade diferente das que ocorrem nas pistas de aeroportos, e que foram estudados nesse trabalho, avaliando-se até 370 km/h.

Constata-se pelos Gráfico 1,Gráfico *2* e Gráfico 3, que houveram seções na qual valores de IRI ultrapassaram o limite regulamentado para ambos os grupos de severidade, cujas médias dos valores pelas velocidades alteraram-se pouco na comparação das duas severidades, e não ultrapassando o limite de RRI, como é exposto nas Tabela 4 e Tabela 5. Além disso, os picos de valores de IRI e RRI não são coincidentes, como observado no Gráfico 2 e Gráfico 3, reforçando as críticas da comunidade científica sobre o uso do IRI para avaliação da irregularidade longitudinal de pavimentos aeroportuários.

Com a avaliação dos valores de IRI observados, percebe-se que esse índice se comporta de forma mais conservadora em relação ao RRI, apontando a necessidade de M&R da pista por apresentar valores inaceitáveis conforme o limite regulamentado de 2,5 m/km (ANAC, 2021), enquanto as mesmas seções avaliadas por meio do RRI, não chegam ao patamar inaceitável do índice, fato esse mais evidente para as pistas de severidade Intermediário.

Tabela 4 Valores de RRI de conjunto de severidade Intermediário, para B737-800

Seção	*20 nós*	*40 nós*	*60 nós*	*80 nós*	*100 nós*	*120 nós*	*140 nós*	*160 nós*	*180 nós*	*200 nós*
1	0,2948	0,4198	0,4725	0,5013	0,579	0,5320	0,4920	0,6369	0,8893	0,9182
2	0,3113	0,4609	0,5738	0,6715	0,690	0,5814	0,6374	0,6008	0,7000	0,5577
3	0,3987	0,7071	0,8374	0,9958	1,059	1,2048	1,2147	1,1475	1,0793	1,3298
4	0,3315	0,6931	0,9919	0,9585	0,977	1,1929	1,2101	1,2369	1,4091	1,4444
5	0,3423	0,5432	0,5560	0,7103	0,908	1,0336	1,2069	1,3310	1,2359	1,1544
6	0,3933	0,5478	0,7623	0,6599	0,807	0,8528	0,7342	0,9158	1,1126	1,0666
7	0,3394	0,4903	0,6657	0,6424	0,938	0,6731	0,6117	0,8542	0,8764	0,7607
8	0,3488	0,5001	0,7136	0,8290	0,940	0,8804	0,8705	1,0461	1,0413	0,9178
9	0,2929	0,4057	0,6275	0,6168	0,641	0,6947	0,6967	0,7515	0,7323	0,6422
10	0,3680	0,5228	0,6523	0,6157	0,631	0,6882	0,6864	0,7717	0,7589	0,6636
11	0,3310	0,4637	0,6394	0,6771	0,663	0,7558	0,6644	0,7282	0,7190	0,6867
12	0,3572	0,5063	0,6322	0,6241	0,691	0,7615	0,7772	0,8283	0,7489	0,7566
13	0,3588	0,4871	0,7160	0,7144	0,900	0,9940	1,0994	1,0182	1,1835	1,2670
14	0,3450	0,5010	0,6493	0,6625	0,771	0,9001	1,0810	1,2448	1,2942	1,3193
15	0,3811	0,4879	0,6378	0,5650	0,856	0,9817	1,0267	1,2278	1,2094	1,2436
16	0,3456	0,6880	0,7584	0,7993	0,798	1,0676	1,2756	1,3565	1,5055	1,4317
17	0,3608	0,5892	0,8031	0,8984	0,961	0,9974	1,0437	1,1490	1,2168	1,2671
18	0,3662	0,5727	0,6754	0,6944	0,691	0,6966	0,8140	0,8563	0,9618	1,0921
19	0,3936	0,5492	0,5618	0,5850	0,667	0,6960	0,6508	0,6890	0,7979	0,9642
20	0,3944	0,4596	0,5213	0,5363	0,771	0,7235	0,6875	0,6642	0,8654	1,0737
21	0,4138	0,5653	0,6940	0,7202	0,736	0,8288	0,9369	0,9848	1,0973	0,9809
22	0,3416	0,5996	0,7313	0,8830	1,037	1,0143	1,0254	1,1462	1,1116	1,2468
23	0,3452	0,4190	0,5935	0,6742	0,911	1,0581	1,0578	0,9109	0,9511	0,9327
24	0,3335	0,4769	0,5483	0,7463	0,771	0,7715	0,7171	0,9110	1,0519	1,0617
25	0,2755	0,4232	0,4663	0,5569	0,499	0,6804	0,8331	0,6798	0,6368	0,7625
26	0,3123	0,5824	0,6048	0,5995	0,611	0,6627	0,9546	0,7741	0,8694	1,0938
27	0,3446	0,5661	0,7309	0,7151	0,738	0,8702	0,8592	1,0405	1,1206	1,0290
28	0,3529	0,5510	0,6158	0,6737	0,793	0,7764	0,8846	1,0654	1,0222	1,0924
29	0,3490	0,4847	0,5773	0,6682	0,798	0,6194	0,5830	0,7323	0,7378	0,6931
30	0,3212	0,3967	0,4372	0,5896	0,670	0,5825	0,5929	0,5992	0,7190	0,6155
31	0,3020	0,4198	0,4920	0,5428	0,530	0,7101	0,7692	0,6335	0,6787	0,9078
32	0,2328	0,3999	0,4182	0,5486	0,729	0,8777	0,7394	0,6981	0,8515	0,9099
33	0,2927	0,3983	0,4681	0,4536	0,590	0,6156	0,6230	0,7661	0,7121	0,6447
34	0,3233	0,4714	0,5995	0,5166	0,627	0,7118	0,6725	0,7690	0,6871	0,6910
35	0,3646	0,5537	0,5856	0,4816	0,695	0,6139	0,7167	0,9490	0,9481	0,8082
36	0,3277	0,5423	0,5764	0,6703	0,785	0,8459	0,8689	0,9934	0,8583	0,8478
37	0,3182	0,4407	0,5103	0,5558	0,761	0,8718	0,8348	0,9566	1,0078	0,8346
38	0,3552	0,4549	0,5447	0,5851	0,707	0,7289	0,6377	0,7111	0,8241	0,7670
39	0,3529	0,5578	0,7703	0,7564	0,869	0,7761	0,8624	0,9987	1,0689	1,0060

Tabela 5 Valores de RRI de conjunto de severidade Ruim, para B737-800

Seção	*20 nós*	*40 nós*	*60 nós*	*80 nós*	*100 nós*	*120 nós*	*140 nós*	*160 nós*	*180 nós*	*200 nós*
1	0,2314	0,3404	0,4424	0,4462	0,577	0,4625	0,4804	0,6369	0,6817	0,6989
2	0,2435	0,3425	0,4781	0,4508	0,670	0,5350	0,4712	0,6264	0,7015	0,6178
3	0,3107	0,4829	0,5977	0,7134	0,889	0,9717	0,8698	0,8915	0,9642	1,0125
4	0,3281	0,5461	0,7546	0,6378	0,715	0,8867	0,9829	0,9139	1,0771	1,1405
5	0,3321	0,5315	0,6109	0,7496	0,867	0,9059	1,0148	1,1340	1,0217	0,9227
6	0,3140	0,4742	0,5508	0,5874	0,747	0,8833	0,7414	0,8979	0,9800	0,9482
7	0,3444	0,5135	0,7049	0,6446	0,873	0,8492	0,8660	1,1812	1,1178	1,0061
8	0,2898	0,4460	0,6285	0,6870	0,847	0,6978	0,6502	0,8156	0,9155	0,9238
9	0,3003	0,4477	0,5649	0,7366	0,635	0,6460	0,6335	0,6333	0,7662	0,6768
10	0,3302	0,5062	0,6479	0,6899	0,747	0,7785	0,8208	0,8260	0,8735	0,8552
11	0,3660	0,5571	0,6607	0,7416	0,800	0,8471	0,6933	0,8213	0,8934	0,9027
12	0,3364	0,5334	0,6181	0,6194	0,739	0,8152	0,8830	0,8791	0,9661	0,9932
13	0,3141	0,4951	0,5238	0,5734	0,742	0,8955	1,1086	1,1296	1,2323	1,1528
14	0,3769	0,4489	0,6578	0,5819	0,825	0,8418	0,9073	1,0497	1,1710	1,1529
15	0,3846	0,5251	0,7168	0,7306	0,914	0,7764	0,8253	0,8961	0,9842	0,9619
16	0,3284	0,4522	0,6178	0,7167	0,671	0,6673	0,6769	0,8173	0,9362	0,9175
17	0,3681	0,4945	0,6034	0,4459	0,587	0,7270	0,8931	0,8207	0,7985	0,5804
18	0,3593	0,5712	0,6975	0,6329	0,601	0,6827	0,7010	0,7862	0,7204	0,6773
19	0,4026	0,5725	0,6592	0,6885	0,723	0,7931	0,7023	0,7657	0,7328	0,8579
20	0,3131	0,4402	0,6052	0,7060	0,749	0,7889	0,8769	0,7585	0,9128	1,1288
21	0,3836	0,4942	0,6748	0,5709	0,631	0,6984	0,8265	0,7992	0,8165	0,8644
22	0,3636	0,5173	0,7296	0,7078	0,967	1,0184	1,0889	1,1372	1,2070	1,2546
23	0,3374	0,6498	0,7308	0,8021	0,965	1,1239	1,3386	1,4889	1,5029	1,3136
24	0,3202	0,5527	0,7572	0,9371	0,927	1,0707	1,0167	1,3144	1,4718	1,4878
25	0,3263	0,4478	0,5862	0,6144	0,717	0,6651	0,8571	0,8528	0,8566	1,0897
26	0,3642	0,5191	0,5346	0,5574	0,682	0,6121	0,7115	0,7314	0,7694	0,9091
27	0,3860	0,5341	0,5947	0,5622	0,707	0,6919	0,7081	0,7694	0,8501	0,9080
28	0,4340	0,5143	0,6684	0,6829	0,778	0,8124	0,8492	0,9235	1,0587	0,9350
29	0,3737	0,5616	0,7312	0,7854	0,915	0,8582	0,9246	1,0088	0,9979	0,9379
30	0,3722	0,4913	0,6058	0,7394	0,846	0,9032	0,8933	0,8981	0,9923	0,9986
31	0,3303	0,4467	0,4854	0,6560	0,722	0,8930	0,8189	0,8112	0,7638	0,8297
32	0,3044	0,4531	0,5448	0,6432	0,665	0,7339	0,6788	0,7249	0,8295	0,9584
33	0,2942	0,4767	0,5389	0,5137	0,563	0,6626	0,8356	0,6948	0,7987	1,0092
34	0,3271	0,5568	0,6450	0,7562	0,667	0,8268	1,0057	0,8369	0,8706	1,0136
35	0,3275	0,5390	0,5753	0,5973	0,676	0,7321	0,7669	0,9961	0,9151	0,9225
36	0,3430	0,5168	0,6251	0,6017	0,697	0,7223	0,7124	0,8526	0,8121	0,8873
37	0,3575	0,4533	0,5271	0,6025	0,757	0,6531	0,6156	0,6204	0,7189	0,6239
38	0,3147	0,4673	0,4765	0,5423	0,530	0,6149	0,6310	0,5510	0,6545	0,7088
39	0,3077	0,4557	0,5815	0,6701	0,686	0,7376	0,7954	0,7187	0,8471	0,9044

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho, foram feitas análises gráficas e estatísticas para relacionar valores de IRI, índice atualmente regulamentado no Brasil, e o RRI, índice que considera o *Weighted Root-Mean Square Vertical Accelerations at the Cockpit* - WtRMS-VACP), obtidos por meio de simulações do *software* ProFAA, para diferentes condições de severidade de irregularidade longitudinal e de velocidades desenvolvidas pelas aeronaves B737-800 e B747 SP. Os resultados indicam uma baixa correlação do IRI e RRI para velocidades maiores (acima de 148 km/h) para as condições de severidade Intermediária e Ruim de irregularidade longitudinal, evidenciando uma deficiência no IRI em explicar as variações de VACP em condições adversas.

Ainda, os resultados indicam que o IRI é um índice conservador, baseado na análise de seções pela classificação quanto à severidade da condição de irregularidade, divergindo da classificação de RRI nas condições Intermediária e Ruim, nos quais os picos de valores entre os índices foram divergentes. Valores de IRI para a condição Ruim foram superiores ao limite de 2,5 m/km, porém os dados observados de RRI, para a mesma condição, apresentaram diversas seções nas condições de manutenção geral e de programação de manutenção.

Dessa forma, verifica-se que há variações de aceleração vertical quando alterados os parâmetros de aeronave e velocidade desenvolvida, evidenciando as limitações do IRI na avaliação de irregularidade longitudinal de pavimentos aeroportuários, visto que avalia apenas o perfil longitudinal da pista, e foi originalmente desenvolvido para ser utilizado no modo rodoviário. O uso de novos parâmetros de avaliação, como é o caso do RRI, ainda em desenvolvimento, ou a adaptação dos existentes ao ambiente a qual são utilizados, é necessário para o operador do aeródromo tomar decisões mais racionais quanto às estratégias de manutenção e reabilitação das pistas de pouso e decolagem.

Referências Bibliográficas

ANAC. (2021). *Regulamento Brasileiro de Aviação Civil N° 153: Aeródromos – Operação, Manutenção e Resposta à Emergências*. Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC, RBAC n. 153, Emenda nº 06, Secretaria de Aviação Civil, Brasília.

ASTM. (2018). *Standard Practice for Computing International Roughness Index of Roads from Longitudinal Profile Measurements*. ASTM E1926 - 08. American Society of Testing and Materials. USA. DOI: 10.1520/E1926-08R15.

Cardoso, S. H.; Pinto, A. C.; Noronha, A.; Arruda, E.; Hércules, R. & Oliveira, A. S. (2018). Demonstration of the Non-Applicability of IRI as a Runway Roughness Indicator. In: *ALACPA XIV Seminar on Airport Pavements*. 28 slides.

Chen, Y. & Chou, C. (2004). Effects of Airport Pavement-Profile Wavelength on Aircraft Vertical Responses. Transportation Research Record: *Journal of the Transportation Research Board*, National Research Council, Washington, D.C., 1989,83–93.

Durán, J. B. C. & Fernandes Jr., J. L. (2020). Airport pavement roughness evaluation based on cockpit and center of gravity vertical accelerations. *Revista Transportes*, v.28, n.1, p. 147–159.

Emery, S.; Hefer, A. & Horak, E. (2015). Roughness of Runways and Significance of Appropriate Specifications and Measurement. *11th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa*. Sun City, África do Sul.

FAA. (2009). *Advisory Circular AC 150/5380-9: Guidelines and Procedures for Measuring Airfield Pavement Roughness*. Federal Aviation Administration. United States Department of Transportation. Washington, DC.

FAA. (2017). *Boeing 737-800 Final Surface Roughness Study Data Collection*. Final Report DOT/FAA/TC-18/8. Federal Aviation Administration. William J. Hughes Technical Center. Aviation Research Division. Atlantic City International Airport, New Jersey 08405.

FAA. (2020). *Airbus A330-200 Final Surface Roughness Study Data Collection*. Final Report DOT/FAA/TC-18/13. Federal Aviation Administration. William J. Hughes Technical Center. Aviation Research Division. Atlantic City International Airport, New Jersey 08405.

FAA. (2021). *New Index Testing and Verification—Runway Roughness Index. Final Report DOT/FAA/TC-21/32*. Federal Aviation Administration. William J. Hughes Technical Center. Aviation Research Division.

Gerardi, T. (2007). The impact of runway roughness in a high speed aborted takeoff, in *FAA Worldwide Airport Technology Transfer Conference*, New Jersey, USA.

Ling, J. M.; Liu, S. F.; Yuan, J. & Yang, W. C. (2017). Applicability of IRI based evaluation of airport pavement roughness. *Journal of Traffic Transportation Engineering*. v. 17, p. 20–27.

Liu S.; Tian Y.; Liu L.; Xiang P. & Zhang Z. (2021). Improvement of Boeing Bump Method Considering Aircraft Vibration Superposition Effect. *Applied Sciences*.; 11(5):2147.https://doi.org/10.3390/app11052147.

Loprencipe, G. & Zoccali, P. (2019). Comparison of methods for evaluating airport pavement roughness. *International Journal of Pavement Engineering*. V. 20, p. 782–791. https://doi.org/10.1080/10298436.2017.1345554.

Morris, G. J. & Hall, A. W. (1965). Recent Studies of Runway Roughness. *Conference on Aircraft Operating Problems*: *A Compilation of the Papers Presented*. Langley Research Center. National Aeronautics and Space Administration, pp. 1-7.

Sayers, M., Gillespie, T. D., & Queiroz, C. (1986). *The International Road Roughness Experiment - Establishing Correlation and a Calibration Standard for Measurements*. World Bank Technical Paper Number 45. Washington, D.C., USA.

Sayers, M. W. & Karamihas, S. M. (1998). *The Little Book of Profiling: Basic Information About Measuring and Interpreting Road Profiles*. Universidade do Michigan, EUA.

Tian, Y.; Liu, S.; Liu, L. & Xiang, P. (2021). Optimization of International Roughness Index Model Parameters for Sustainable Runway. *Sustainability* 2021, 13, 2184. https://doi.org/10.3390/su13042184.