Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Científica
(https://periodicos.unisanta.br/COB)

ISSN 2317-1316

TRIAGEM NUMÉRICA DE DIFERENTES GEOMETRIAS DE PÁS PARA ROTORES EÓLICOS DO TIPO SAVONIUS

NUMERICAL SCREENING OF DIFFERENT BLADE GEOMETRIES FOR SAVONIUS WIND ROTORS

Gabriel Perazolli Santos de Melo, Felipiano Freires de Araujo, Rayan de Araújo Figueredo, Willy Ank de Moraes

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica
E-mail para contato: rayan.araujo.figueredo@gmail.com

RESUMO – Este trabalho apresenta a triagem numérica de dez geometrias de pás para rotores Savonius, com foco na rastreabilidade geométrica e na comparação preliminar por CFD no OpenFOAM. Após a consolidação do conjunto, adotou-se um sistema de numeração sequencial (M01–M10). Para λ = 0,6, os maiores torques obtidos — determinados pelo método de Referencial Móvel (MRF, na sigla em inglês) — foram +0,00679 N·m para o modelo helicoidal de 45° (M09), +0,00666 N·m para o modelo inspirado em perfis aerodinâmicos (M06) e +0,00643 N·m para o modelo semicircular (M01). O modelo M01 apresentou um torque 29,84% superior ao do modelo M05, que ocupou a quarta posição. Consequentemente, os modelos M01, M06 e M09 foram selecionados para análises em regime transiente e futuras avaliações experimentais. O modelo Benesh (M03) não atingiu um regime permanente, sendo classificado como inconclusivo.

Palavras-chave: Rotor Savonius; Geometria das pás; Fluidodinâmica computacional; Desempenho aerodinâmico; Ensaios em túnel de vento.

ABSTRACT – This work presents the numerical screening of ten blade geometries for Savonius rotors, focusing on geometric traceability and a preliminary CFD comparison in OpenFOAM. Following the consolidation of the set, a sequential numbering system (M01–M10) was adopted. At λ = 0.6, the highest qualified torques—determined via the Moving Reference Frame (MRF) method—were +0.00679 N·m for the 45° helical model (M09), +0.00666 N·m for the airfoil-inspired model (M06), and +0.00643 N·m for the semicircular model (M01). Model M01 yielded 29.84% more torque than model M05, which ranked fourth. Consequently, models M01, M06, and M09 were selected for further transient analysis and future experimental evaluation. The Benesh model (M03) failed to reach a steady state and was classified as inconclusive.

Keywords: Savonius rotor; Blade geometry; Computational fluid dynamics; Aerodynamic performance; Wind tunnel testing.

ISSN 2317-1316

1 INTRODUÇÃO

A comparação entre diferentes modelos de pás para rotores Savonius exige condições de análise equivalentes e controle das variáveis geométricas. Nesse tipo de rotor, o desempenho resulta da interação entre a pá avançante, a pá de retorno, a sobreposição, a razão de aspecto, os discos de extremidade e o regime de escoamento. Por essa razão, alterações de forma devem ser avaliadas de modo sistemático, evitando atribuir à geometria efeitos decorrentes de mudanças simultâneas nas condições numéricas ou experimentais (Akwa, Vielmo e Petry, 2012).

Estudos experimentais e numéricos mostram que modificações no perfil das pás podem alterar o torque, a potência e a estrutura da esteira. Investigações de rotores modificados analisaram parâmetros geométricos e seus efeitos sobre torque estático e desempenho em operação (Kamoji, Kedare e Prabhu, 2009b), enquanto configurações helicoidais demonstraram a importância da distribuição azimutal do torque e do caráter tridimensional do escoamento (Kamoji, Kedare e Prabhu, 2009a).

Além do desempenho aerodinâmico, a comparação requer rastreabilidade geométrica. Representações baseadas em Projeto Assistido por Computador (*Computer-Aided Design - CAD*), superfícies trianguladas, perfis de coordenadas e rotinas paramétricas podem descrever versões distintas de uma mesma concepção. Assim, o estudo adota um modelo de referência com origem geométrica verificada e aplica a mesma lógica de preparação aos demais candidatos, preservando a comparabilidade entre as dez geometrias.

O objetivo deste trabalho é apresentar a triagem numérica de dez geometrias de pás para rotores Savonius em uma condição comum de $\lambda = 0{,}6$, com ênfase na rastreabilidade geométrica, na comparabilidade numérica e na obtenção de resultados quantitativos de torque. A partir dessa triagem, busca-se delimitar um conjunto reduzido para aprofundamento posterior em CFD transitório e túnel de vento, sem interpretar o MRF como validação definitiva do desempenho ao longo do ciclo rotacional.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi desenvolvido um procedimento de preparação computacional com inspeção das representações geométricas, comparação de coordenadas, geração de malha e definição das condições experimentais. O acervo técnico analisado inclui sólidos *CAD*, superfícies trianguladas, perfis de linha média, desenhos bidimensionais e uma rotina paramétrica de

ISSN 2317-1316

construção geométrica. Esses elementos são tratados pela função técnica que exercem no processo, e não pelo nome interno de armazenamento.

O estudo considera exclusivamente dez geometrias, identificadas sequencialmente de M01 a M10. A seleção busca diversidade de conceito, possibilidade de modelagem e fabricação, além de referências suficientes para documentação técnica. O M01 semicircular convencional é o baseline obrigatório da comparação e os demais modelos são avaliados sob a mesma lógica de preparação e condições de escoamento.

As designações apresentadas na Tabela 1 identificam os dez modelos considerados neste trabalho e não implicam reprodução exata de geometrias publicadas. Quando um modelo é inspirado em uma referência da literatura, a denominação indica a família geométrica utilizada como base. A reconstrução Benesh, por exemplo, permanece identificada como reconstrução baseada na referência histórica (Benesh, 1996), devendo sua equivalência dimensional integral ser tratada com cautela.

Tabela 1. Conjunto selecionado para a triagem numérica.

Código CFD	**Designação do modelo**
M01	Semicircular convencional
M02	Bach clássico
M03	Reconstrução Benesh
M04	Multi-arco
M05	Assimétrico côncavo-convexo
M06	Inspirado em aerofólio
M07	Ranhurado
M08	Fibonacci inspirado
M09	Helicoidal com torção de 45°
M10	Bézier parametrizado

Fonte: definido pelos autores (2026).

Para o modelo de referência M01, foram comparadas duas representações *CAD*: uma versão catalogada e um modelo mestre rastreável. A fonte geométrica primária é um perfil de linha média discretizado por coordenadas, associado a uma rotina paramétrica que calcula o gradiente local, obtém a normal unitária e constrói as superfícies das duas pás com espessura definida. Essa cadeia foi utilizada para verificar qual representação *CAD* reproduz de forma consistente a geometria de origem.

ISSN 2317-1316

A comparação geométrica foi realizada sem gerar novos sólidos. Foram aplicadas apenas as operações de coordenadas previstas na construção paramétrica, confrontando o contorno calculado com seções equivalentes das duas representações *CAD*. Pontos distribuídos ao longo dos segmentos foram usados para avaliar as distâncias entre o perfil de referência e os contornos dos sólidos, permitindo identificar a representação mais coerente com a fonte geométrica.

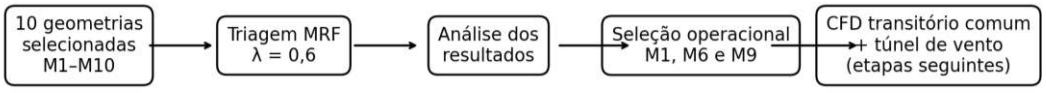
Para a avaliação de qualidade da malha, além do *checkMesh* com verificações geométricas e topológicas completas, foi auditado o critério *checkConcaveCells* do *OpenFOAM* 14. Para cada célula foi obtido q_c como o maior valor do produto escalar normalizado empregado pelo critério nativo; também foram calculados a violação dimensional δ^c e o índice relativo η_c, conforme a Equação (1), na qual Vc é o volume da célula e ηc é adimensional:

$$\eta_c = \frac{\delta_c}{V_c^{1/3}} \tag{1}$$

Um utilitário nativo em C++ foi usado para avaliar todas as células e reproduziu os cellSets gravados pelo checkMesh nas três configurações comparadas, sem diferenças de IDs. Essa abordagem distingue quantidade de células sinalizadas, severidade geométrica e ocorrência adjacente ao patch do rotor. A triagem MRF utilizou OpenFOAM Foundation 14, ar Newtoniano e incompressível, $\rho = 1{,}225$ kg/m³, $\nu = 1{,}46 \times 10^{-5}$ m²/s, modelo RANS k–ω SST e acoplamento SIMPLE. Foram adotados V = 6 m/s, R = 0,04545 m e $\lambda = 0{,}6$, correspondentes a $\omega \approx 79{,}208$ rad/s e 756,38 rpm. Nas análises transitórias futuras, o acoplamento será tratado pelo algoritmo PIMPLE.

A campanha numérica considerou exclusivamente os dez modelos M01–M10. A triagem MRF foi executada em uma condição comum de razão de velocidade de ponta, $\lambda = 0{,}6$, com o objetivo de comparar os modelos sob a mesma configuração numérica. Adotou-se como critério operacional CV ≤ 1%, diferença entre metades ≤ 1% e módulo da tendência normalizada ≤ 1%, sem equipará-lo à independência de malha. Após a análise dos resultados consolidados, M01, M06 e M09 foram selecionados operacionalmente para o aprofundamento posterior. A continuidade do estudo concentra-se nesses três modelos, conforme a Figura 1.

Figura 1: Fluxo efetivamente adotado para a triagem e o aprofundamento dos modelos.



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

ISSN 2317-1316

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Verificação geométrica do modelo de referência

A fonte geométrica primária do M01 foi recuperada no acervo técnico original e confrontada com as representações CAD disponíveis. O perfil discretizado e a rotina paramétrica apresentaram consistência entre as cópias preservadas no histórico do projeto, o que permitiu estabelecer uma cadeia de rastreabilidade sem depender da nomenclatura interna dos arquivos.

A comparação mostrou que o modelo mestre rastreável reproduz o contorno calculado pela fonte geométrica com desvio máximo amostrado da ordem de 10^{-10} mm, compatível com resíduo numérico. A representação catalogada apresentou desvio máximo de aproximadamente 0,0193 mm. Para a continuidade do estudo, o modelo mestre foi adotado como referência geométrica do M01, enquanto a representação catalogada foi mantida apenas como registro comparativo.

Os valores dessa comparação do CAD histórico, apresentados na Tabela 2, expressam concordância entre descrições geométricas digitais e não representam tolerância de fabricação. O pequeno resíduo do modelo mestre indica consistência numérica com a fonte geométrica, enquanto as diferenças de volume e área entre as duas representações reforçam a necessidade de definir uma única referência para toda a campanha.

Por fim, a representação visual dessas linhas médias das duas pás do M01 e a posição do eixo da representação histórica podem ser observadas na Figura 2, ao final desta seção. As curvas correspondem diretamente ao perfil geométrico de referência, sem introdução de uma superfície analítica diferente da fonte utilizada no projeto.

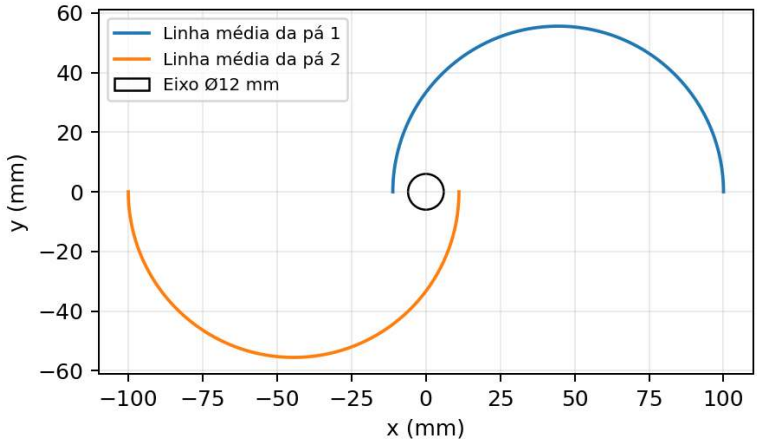
Tabela 2. Comparação entre a representação CAD catalogada e o modelo mestre rastreável.

Indicador	**Representação *CAD* catalogada**	**Modelo mestre rastreável**
Faces do sólido	267	491
Arestas por seção de pá	130	242
Volume do sólido (m^3)	$4{,}7135353 \times 10^{-4}$	$4{,}7142456 \times 10^{-4}$
Área superficial (m^2)	0,37769463	0,37772095
Desvio máximo amostrado em relação à fonte (m)	$1{,}93265 \times 10^{-5}$	$\approx 7{,}7 \times 10^{-14}$

Fonte: resultados obtidos pelos autores (2026).

ISSN 2317-1316

Figura 2: Linhas médias do M01 histórico, com eixo de 12 mm; o protótipo nominal prevê eixo de 6 mm.



Fonte: elaborado pelos autores (2026).

3.2 Configuração experimental e condições do túnel

A configuração experimental adotada considera seção interna do túnel de 0,270 m × 0,310 m, janela lateral de 300 mm × 200 mm e trecho reto de aproximadamente 3 m. O rotor do projeto possui diâmetro aerodinâmico nominal de 90,9 mm, altura de pás de 135 mm, discos de 99 mm e eixo metálico previsto de 6 mm. Essas dimensões são tratadas como dimensões nominais do próprio projeto, e não como uma redução em escala de outro rotor. A posição longitudinal definitiva do rotor, as folgas de montagem e a velocidade efetivamente disponível no túnel ainda devem ser confirmadas experimentalmente.

A área frontal nominal do rotor é definida por A = DH. Para seção útil do túnel A_t e viscosidade cinemática ν, empregam-se as relações de bloqueio β e número de Reynolds Re apresentadas na Equação (2). São relações de planejamento; o bloqueio nominal não constitui uma correção dos efeitos das paredes.

$$\beta = 100\, DH/A_t\,; \qquad Re = VD/\nu \tag{2}$$

Com A_t = 0,0837 m² e DH = 0,0122715 m², resulta β = 14,6613%. Esse valor considera apenas a projeção nominal das pás; discos, eixo exposto e suportes podem ampliar a obstrução. A proximidade das paredes exige uma linha *CFD* que represente o túnel, além da comparação em domínio de campo quase livre. Não se assume que o protótipo opere sem influência do confinamento.

O bloqueio nominal de 14,66% exige avaliar a influência do confinamento. Eventuais correções de bloqueio deverão ter sua aplicabilidade verificada para a geometria, a razão de

ISSN 2317-1316

velocidade de ponta e o túnel utilizados, sem pressupor que uma correção de corpo sólido seja suficiente para o rotor em operação. A comparação experimental inicial deverá considerar CFD com representação explícita do túnel.

O número de Reynolds será determinado para a geometria nominal do projeto a partir da velocidade e das propriedades do ar efetivamente adotadas em cada condição. Não se deduz uma velocidade operacional por relação de escala geométrica. A velocidade de referência da campanha será definida a partir da caracterização do túnel e deverá ser mantida de forma controlada nas comparações entre geometrias; temperatura e velocidade medidas serão registradas no tratamento final dos ensaios.

A razão de velocidade de ponta é dada pela Equação (3):

$$\lambda = \omega R/V \tag{3}$$

Para o rotor do projeto, R = 0,04545 m, de modo que a velocidade angular e a rotação correspondente a cada valor de λ serão calculadas após a definição da velocidade operacional V. Na triagem apresentada, V = 6 m/s corresponde a Re ≈ 37.356 e 756,38 rpm em λ = 0,6. Os valores de rotação dos ensaios serão usados na preparação dos instrumentos e no dimensionamento mecânico, sem antecipar uma condição de operação antes da caracterização do túnel. O projeto de cubos, fixações, discos, rolamentos e balanceamento deverá considerar massa, resistência, anisotropia do material e margem de segurança.

3.3 Estado da malha e limites da interpretação aerodinâmica

A malha do caso-mestre M01 foi reavaliada no *OpenFOAM* 14 com *snapping* explícito e *feature edges* extraídas da superfície. Mantidos o refinamento superficial, a transição entre níveis e os demais parâmetros principais, foram comparadas três configurações de *nFeatureSnapIter*: 10, 20 e 30 conforme apresentado na Tabela 3. Todas apresentaram 405.434 células e reprovação apenas no critério de *concaveCells*, enquanto os demais indicadores geométricos permaneceram dentro das verificações reportadas pelo *checkMesh*.

A auditoria do código-fonte confirmou que *checkConcaveCells* sinaliza células quando o critério q excede -10^{-6}, incluindo a vizinhança praticamente planar. Para verificar se a contagem era dominada por esse limite, o diagnóstico nativo reproduziu 100% dos IDs do *checkMesh* e separou a severidade. Na configuração com *nFeatureSnapIter* = 10, somente 22 das 10.377 células ficaram nas classes próximas do limite e 10.355 apresentaram $q_c > 10^{-6}$; na configuração com *nFeatureSnapIter* = 20 foram 46 e 9.391, respectivamente; e na configuração com

ISSN 2317-1316

nFeatureSnapIter = 30 foram 71 e 8.938. Assim, a maior parte das ocorrências não pode ser atribuída apenas ao intervalo numérico em torno da planaridade.

Tabela 3. Indicadores de qualidade da malha do M01 para diferentes valores de nFeatureSnapIter.

Indicador	***nFeatureSnapIter* = 10**	***nFeatureSnapIter* = 20**	***nFeatureSnapIter* = 30**
concaveCells	10.377	9.437	9.009
$q_c > 10^{-6}$	10.355	9.391	8.938
Aspect ratio máx.	3,656	4,075	4,305
Não ortogonalidade máx. (°)	45,8	53,17	55,25
Skewness máx.	2,397	2,753	3,115
Faces com flatness < 0,8	2	7	5
Determinante mín.	0,02074	0,08979	0,01701
η_c P95 global	0,03285	0,03538	0,03545
η_c P99 global	0,09756	0,09879	0,09909
Células adjacentes ao rotor	81	83	87
η_c P99 adjacente ao rotor	0,0996	0,12831	0,11229

Fonte: Elaboração própria dos autores a partir dos diagnósticos de malha no *OpenFOAM* 14 (2026).

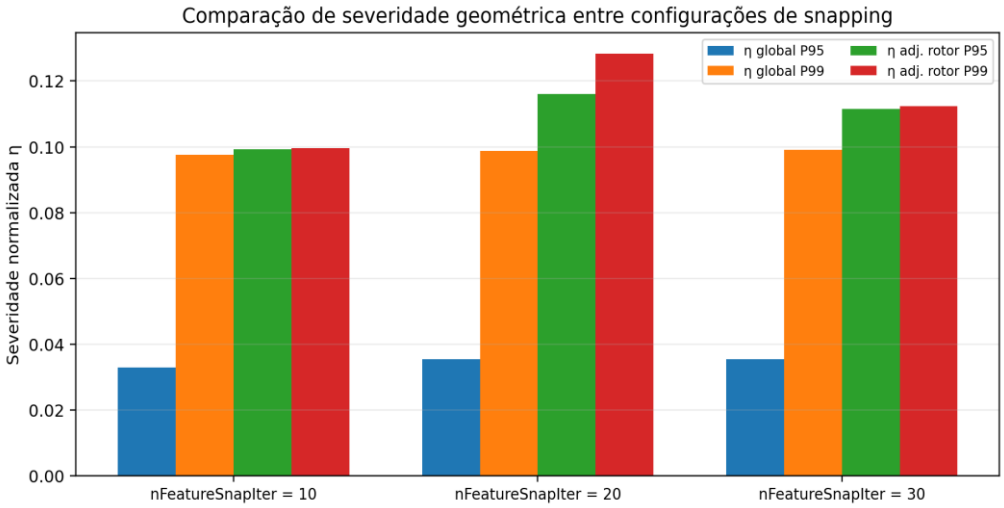
A comparação por severidade mostrou comportamento diferente daquele sugerido apenas pela contagem bruta de *concaveCells*. A configuração com *nFeatureSnapIter* = 10 apresentou os menores P95 e P99 globais de η_c e os menores percentis de severidade diretamente adjacentes ao rotor. As configurações com 20 e 30 iterações reduziram a quantidade total de células sinalizadas, porém sem melhorar simultaneamente os indicadores globais e locais. A Figura 3 apresenta essa comparação de forma gráfica.

A garantia de qualidade geométrica da malha na região adjacente à superfície do rotor é crítica, pois células severamente deformadas ou côncavas prejudicam o cálculo dos gradientes de velocidade na subcamada viscosa, distorcendo a avaliação da força de arrasto e da separação de fluxo. Por apresentar indicadores de severidade geométrica mais favoráveis entre as configurações avaliadas, a configuração com *nFeatureSnapIter* = 10 foi adotada como referência provisória para o desenvolvimento do caso M01. Para comprovar a independência dos resultados numéricos em relação à discretização espacial, a campanha transitória será precedida por um estudo de convergência de malha, avaliando três densidades distintas até que

ISSN 2317-1316

a variação dos coeficientes aerodinâmicos (C_t e C_p) atinja estabilidade assintótica sob um y^+ compatível com o modelo de turbulência.

Figura 3: Comparação dos percentis de severidade normalizada entre as configurações de snapping.



Fonte: Elaboração própria dos autores a partir dos diagnósticos no *OpenFOAM* 14 (2026).

O método de Múltiplos Referenciais de Rotação (Multiple Reference Frame - MRF) foi empregado para desenvolvimento e triagem. Como o torque depende da posição azimutal, a conclusão principal sobre desempenho deverá priorizar uma solução transitória com região móvel e interface compatível com a implementação escolhida. Serão examinados torque por ângulo, média por revolução, pressão, velocidade, vorticidade e esteira. A periodicidade entre revoluções e as sensibilidades à malha e ao passo temporal serão critérios de aceitação, não apenas a redução de resíduos algébricos.

Para área de referência A = DH, os coeficientes serão calculados pela Equação (4) e Equação (5):

$$Ct = T/(0{,}5\rho AV^2R) \quad (4)$$

$$Cp = T\omega/(0{,}5\rho AV^3) \quad (5)$$

Em rotação constante e com referências consistentes, torna-se aplicável a Equação (6), conforme:

$$Cp = \lambda Ct \quad (6)$$

ISSN 2317-1316

As médias de ciclo deverão abranger revoluções completas após o descarte do transiente inicial. Nesta etapa, apresentam-se os torques MRF; não são reportados Ct ou Cp médios de ciclo, pois a triagem em orientação fixa não substitui a solução transitória periódica.

A comparação experimental deverá manter dimensões externas comuns entre os três finalistas e registrar diferenças inevitáveis de massa, inércia, rugosidade e atrito. Também será necessário distinguir rotação livre de operação com carga: a medição de rpm, isoladamente, não determina potência mecânica. A repetibilidade, a calibração dos sensores e o controle da velocidade incidente deverão ser incorporados antes de confrontar os ensaios com as previsões numéricas.

3.4 Triagem MRF em λ = 0,6 e seleção operacional

A triagem numérica foi executada em uma condição comum de razão de velocidade de ponta (λ = 0,6). A Tabela 4 reúne os resultados operacionais consolidados dos dez modelos e a Figura 4 apresenta a comparação gráfica dos torques qualificados. Entre os casos qualificados, M09, M06 e M01 apresentaram os maiores torques MRF: +0,00679 N·m, +0,00666 N·m e +0,00643 N·m, respectivamente. As diferenças foram 1,96% entre M09 e M06, 3,56% entre M06 e M01 e 29,84% entre M01 e M05, usando o segundo modelo de cada comparação como denominador. No sentido inverso, a queda de M01 para M05 foi 22,98%. Essas diferenças aritméticas não constituem significância estatística.

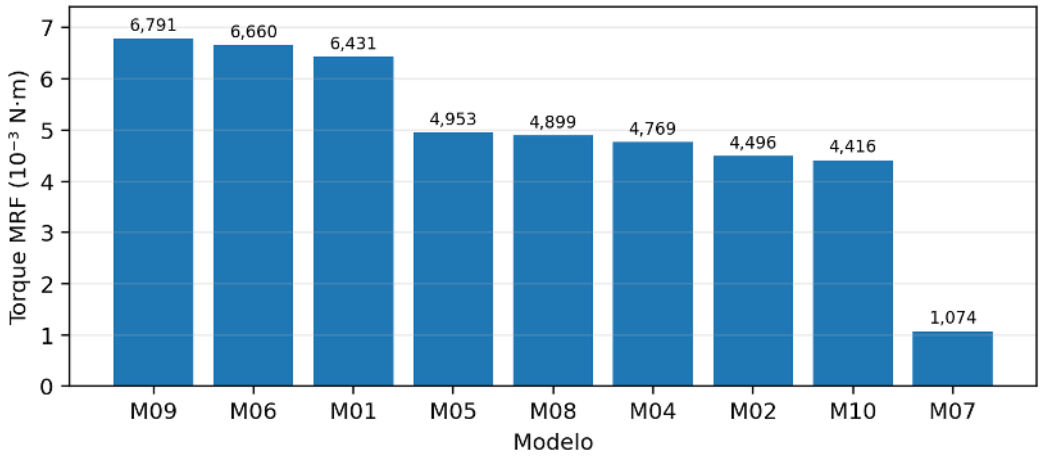
Tabela 4. Resultados operacionais consolidados da triagem MRF em λ = 0,6.

Modelo	Designação	Torque MRF (N·m)
M09	Helicoidal 45°	+0,00679
M06	Inspirado em aerofólio	+0,00666
M01	Semicircular convencional	+0,00643
M05	Assimétrico côncavo-convexo	+0,00495
M08	Fibonacci inspirado	+0,00490
M04	Multi-arco	+0,00477
M02	Bach clássico	+0,00450
M10	Bézier parametrizado	+0,00442
M07	Ranhurado	+0,00107
M03	Reconstrução Benesh (Não qualificado)	−0,000476*

Fonte: registros consolidados da campanha (2026). *M03: média diagnóstica não estacionária; excluída do ordenamento dos torques qualificados.

ISSN 2317-1316

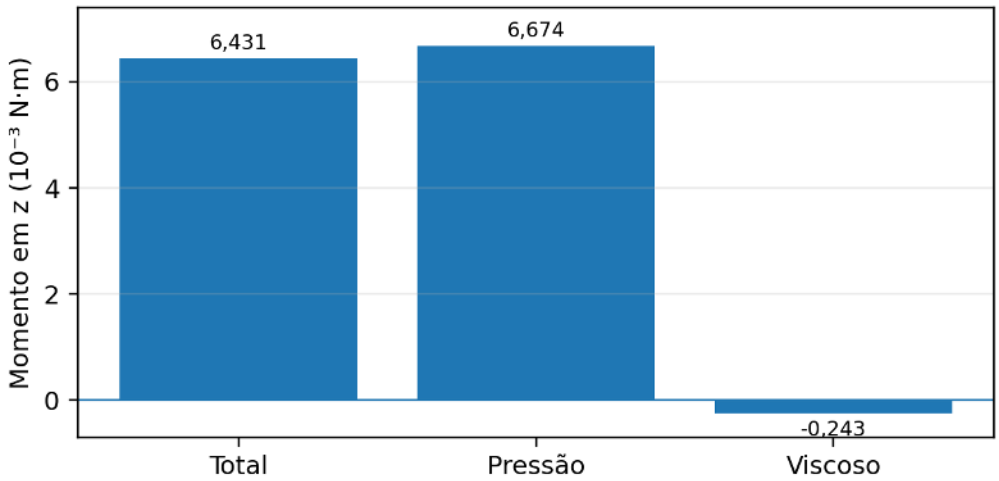
Figura 4: Comparação dos torques MRF qualificados em λ = 0,6.



Fonte: registros consolidados da campanha (2026). M03 não representado por barra por não atingir estacionariedade.

A ordenação gráfica confirma a proximidade entre M09, M06 e M01 e evidencia a separação entre o grupo selecionado e os demais resultados qualificados. Como complemento à métrica principal de torque, a Figura 5 apresenta a decomposição do momento do M01 em contribuição de pressão e contribuição viscosa na janela consolidada.

Figura 5: Decomposição do momento em z do M01 na condição de λ = 0,6.



Fonte: elaboração própria dos autores a partir dos registros consolidados da campanha (2026).

Para o M01, o momento médio de pressão foi +0,006674387533 N·m e a contribuição viscosa foi −0,000243223020 N·m, resultando em momento total de +0,006431164513 N·m.

ISSN 2317-1316

A decomposição mostra que, nesta condição MRF, a contribuição de pressão domina o momento aerodinâmico e a parcela viscosa reduz o valor total.

O M03 Benesh apresentou média diagnóstica de torque de −0,000476010 N·m na janela 360–500, porém não atingiu os critérios de estacionariedade adotados e, por isso, não foi considerado no ordenamento dos torques qualificados. Seus indicadores foram CV = 220,69%, diferença entre metades = 62,89% e tendência normalizada = 129,07%; essa média não representa torque físico validado.

Considerando os resultados MRF consolidados, a diversidade geométrica, a manutenção do M01 como referência e as restrições computacionais, M01, M06 e M09 foram selecionados operacionalmente para a etapa seguinte. Os valores são estimativas MRF na orientação simulada, não médias transitórias de ciclo nem demonstração de superioridade universal. O aprofundamento deverá empregar CFD transitório e verificações de periodicidade, malha e passo temporal, antes da comparação experimental em túnel de vento.

4 CONCLUSÃO

A triagem numérica permitiu comparar quantitativamente as geometrias qualificadas e selecionar os modelos para continuidade do estudo. Em $\lambda = 0,6$, os maiores torques MRF foram obtidos para M09 (0,00679 N·m), M06 (0,00666 N·m) e M01 (0,00643 N·m), sendo este último 29,84% superior ao M05. Considerando o desempenho, a diversidade geométrica e o custo computacional, M01, M06 e M09 foram selecionados para aprofundamento numérico e experimental. O M03 permaneceu fora da classificação por não atender ao critério de estacionariedade. A validação transitória e experimental constitui a próxima etapa do projeto.

5 DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Durante a elaboração deste trabalho, foram utilizadas as ferramentas ChatGPT, da OpenAI (GPT-5.6 Sol), e Gemini, do Google, para apoio à organização textual, tradução, elaboração de rotinas auxiliares e revisão de consistência. A versão exata do Gemini não foi registrada. Os autores são responsáveis pela revisão, pela conferência dos dados e pelo conteúdo final. As ferramentas não substituem a validação numérica, a análise experimental ou a avaliação dos orientadores.

ISSN 2317-1316

6 REFERÊNCIAS

AKWA, J. V.; VIELMO, H. A.; PETRY, A. P. A review on the performance of Savonius wind turbines. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 16, n. 5, p. 3054–3064, 2012. DOI: 10.1016/j.rser.2012.02.056.

BENESH, A. H. Wind turbine with Savonius-type rotor. United States Patent US5494407A, 27 fev. 1996.

CUEVAS-CARVAJAL, N. et al. Effect of geometrical parameters on the performance of conventional Savonius VAWT: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 161, 112314, 2022. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112314.

KAMOJI, M. A.; KEDARE, S. B.; PRABHU, S. V. Performance tests on helical Savonius rotors. Renewable Energy, v. 34, n. 3, p. 521–529, 2009a. DOI: 10.1016/j.renene.2008.06.002.

KAMOJI, M. A.; KEDARE, S. B.; PRABHU, S. V. Experimental investigations on single stage modified Savonius rotor. Applied Energy, v. 86, n. 7–8, p. 1064–1073, 2009b. DOI: 10.1016/j.apenergy.2008.09.019.

ROY, S.; SAHA, U. K. Wind tunnel experiments of a newly developed two-bladed Savonius-style wind turbine. Applied Energy, v. 137, p. 117–125, 2015. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.10.022.