

Relatório de Análise da Manutenibilidade dos núcleos dinâmicos

Introdução

A escolha do núcleo dinâmico do *Model for Ocean-land-Atmosphere prediction* (MONAN) será realizada considerando diversos critérios, entre eles, os aspectos de qualidade de software. Segundo a norma [ISO/IEC 9126](#), revisada pela norma [ISO/IEC 25010:2011](#), quando a qualidade de software se refere ao produto, estas fornecem uma estrutura para especificar características de qualidade de software e realizar comparações entre produtos de software. Outras características e métricas de qualidade de software, encontrados em livros de engenharia de software, também foram introduzidas. Estas normas, características e métricas serão utilizadas como base para a construção dos critérios de escolha do núcleo dinâmico.

Dentro do contexto de qualidade interna, onde o software é avaliado para ser reutilizado e modificado, a definição das características e subcaracterísticas devem ser levantadas em função da área de aplicação do produto de software. Esta definição deve ser feita antes do início do desenvolvimento do mesmo. Produtos de maior porte devem ser subdivididos em módulos e cada um destes deve ter seus próprios conjuntos de características e subcaracterísticas. Portanto, um núcleo dinâmico de qualidade deve ser utilizado considerando aspectos principais da qualidade de software que são inerentes ao Produto.

Este relatório exhibe os resultados da avaliação da característica de Manutenibilidade dos núcleos dinâmicos utilizando a metodologia definida no Documento Técnico Normativo nº 4 (DTN4) do MONAN, disponível em https://github.com/monanadmin/monan/blob/main/doc/criterios_de_escolha_do_core_dinamico_para_o_monan.md :

Manutenibilidade: A capacidade (ou facilidade) do produto de software ser modificado, incluindo tanto as melhorias ou extensões de funcionalidade quanto as correções de defeitos, falhas ou erros. Suas subcaracterísticas são:

- **Analisabilidade:** identifica a facilidade em se diagnosticar eventuais problemas e identificar as causas das deficiências ou falhas.
- **Modificabilidade:** caracteriza a facilidade com que o comportamento do software pode ser modificado.
- **Reusabilidade:** identifica a capacidade de se reutilizar o software por completo ou partes dele.

- Estabilidade: avalia a capacidade do software de evitar efeitos colaterais decorrentes de modificações introduzidas.
- Testabilidade: representa a capacidade de se testar o sistema modificado, tanto quanto as novas funcionalidades quanto as não afetadas diretamente pela modificação.

Análise das métricas e pontuação dos modelos

Foram avaliados os modelos FV3, GEF e MPAS. Nesta primeira avaliação automatizada, seguindo os procedimentos documentados, o modelo GEF obteve um melhor desempenho em algumas métricas como documentação total, documentação de rotinas, tamanho médio dos módulos, *Fan-In* e *Fan-out* como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1: Análise das métricas e pontuação dos modelos FV3, GEF e MPAS.

Métricas de Manutenibilidade	Avaliação			Pontuação		
	FV3	GEF	MPAS	FV3	GEF	MPAS
Comprimento de código	42.014,00	107.221,00	264.016,00	3	1	1
Complexidade Ciclomática Média (McCabe)	16,82	18,08	12,62	1	1	3
Documentação total	0,24	2,09	0,25	1	3	1
Documentação de rotinas	0,36	0,77	0,55	1	3	1
Documentação de arquivos	0,40	0,39	0,32	3	1	1
Documentação de estruturas de controle	0,02	0,31	0,11	1	3	1
Tamanho médio das rotinas	75,95	158,76	97,85	3	1	1
Tamanho médio dos módulos	1.623,31	41,26	916,98	1	3	1
Tamanho médio do nome das variáveis	5,24	4,09	9,45	1	1	3
Razão de <i>only</i> em <i>uses</i>	92,77	3,56	47,22	3	1	1
Razão de <i>"goto"</i> e <i>"continue"</i> por laço	2,50	13,76	0,00	1	1	3
Razão de <i>"exit"</i> e <i>"cycle"</i> por laço	0,63	0,25	2,17	1	1	3
Razão do uso de <i>"implicit"</i>	4,43	8,19	0,32	1	3	1
Total de <i>"equivalence"</i> ou <i>"common"</i>	0,00	44,00	0,00	3	1	3
Profundidade média de laços	7,81	13,56	13,26	3	1	1
Aninhamento médio de laços	0,30	0,38	0,19	1	1	3
<i>Fan-in</i> (mesma rotina sendo chamada)	4,31	86,00	4,66	1	3	1
<i>Fan-out</i> (rotinas chamadas por rotina)	8,35	3,00	16,50	1	3	1
Aninhamento médio de rotinas	1,89	1,21	1,93	1	3	1
TOTAIS				31	35	31

No entanto, ao aplicar uma análise qualitativa do código, verificou-se alguns pontos, os quais foram destacados em negrito na Tabela 1, que foram beneficiados erroneamente, devido aos seguintes pontos:

- A documentação gerada automaticamente para todo o código não é informativa, isto é, foram gerados os cabeçalhos automáticos mas não foram inseridas informações explicativas sobre o conteúdo dos códigos. Com isso, houve benefício nos itens relacionados à documentação.

- Do total de módulos, 75 deles não contêm rotinas, os quais colaboraram para gerar uma pontuação mais alta nos itens “Tamanho médio dos módulos” e “Razão do uso de *implicit*”.
- Os casos de exceção, como rotinas criadas dentro de arquivos sem módulos, o que é desencorajado pelos padrões de codificação, geraram imprevistos de cálculo na ferramenta FortranMakeUtils, aumentando muito o número *Fan-in* e *Fan-out*.

Levando em consideração os três pontos citados, os critérios destacados em negrito na Tabela 1 foram removidos desta avaliação com os três modelos. Seguindo os critérios de pontuação definidos no DTN4, foram obtidos os resultados os quais foram compilados na Tabela 2. Os melhores resultados das métricas receberam 3 pontos, enquanto que os piores receberam nota 1 nas colunas com os nomes dos modelos e nas colunas com subcaracterísticas associadas.

Tabela 2: Análise das métricas e pontuação dos modelos FV3, GEF e MPAS sem os critérios relativos a documentação, tamanho médio dos módulos, “implicit”, “Fan-in” e “Fan-out”.

Métricas de Manutenibilidade	FV3	GEF	MPAS	FV3	GEF	MPAS
Comprimento de código	42.014	107.221	264.016	3	1	1
Complexidade Ciclomática Média (McCabe)	16,82	18,08	12,62	1	1	3
Tamanho médio das rotinas	75,95	158,76	97,85	3	1	1
Tamanho médio do nome das variáveis	5,24	4,09	9,45	1	1	3
Razão de only em uses	92,77	3,56	47,22	3	1	1
Razão de "goto" e "continue" por laço	2,50	13,76	0,00	1	1	3
Razão de "exit" e "cycle" por laço	0,63	0,25	2,17	1	1	3
Total de "equivalence" ou "common"	0,00	44,00	0,00	3	1	3
Profundidade média de laços	7,81	13,56	13,26	3	1	1
Aninhamento médio de laços	0,30	0,38	0,19	1	1	3
TOTAIS				20	10	22

Continuação da Tabela 2.

Analís.	Modific.	Reusab.	Estab.	Testab.	Analís.	Modific.	Reusab.	Estab.	Testab.	Analís.	Modific.	Reusab.	Estab.	Testab.
FV3					GEF					MPAS				
3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3
3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1			1	1	1			1	3	3			3
3	3		3		1	1		1		1	1		1	
1	1		1		1	1		1		3	3		3	
1	1		1		1	1		1		3	3		3	
	3		3			1		1			3		3	
3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3
17	20	11	19	12	9	10	5	9	6	19	22	9	19	12

Na Tabela 3 é mostrado o resumo das informações dos totais da Tabela 2. Verifica-se que as maiores pontuações representam as características que foram melhor consideradas na avaliação, isto é, mais métricas geram pontuação nessas características. Por exemplo, ao somar as pontuações de Modificabilidade de ambos os modelos (20+10+22=52), verifica-se que esta foi a característica com um maior número de pontos. Em sequência se verifica a Estabilidade (47), Analisabilidade (45), Testabilidade (30) e Reusabilidade (25).

Tabela 3. Pontuação geral dos modelos FV3, GEF e MPAS, por Característica.

	Analís.	Modific.	Reusab.	Estab.	Testab.
FV3	17	20	11	19	12
GEF	9	10	5	9	6
MPAS	19	22	9	19	12
TOTAL	45	52	25	47	30

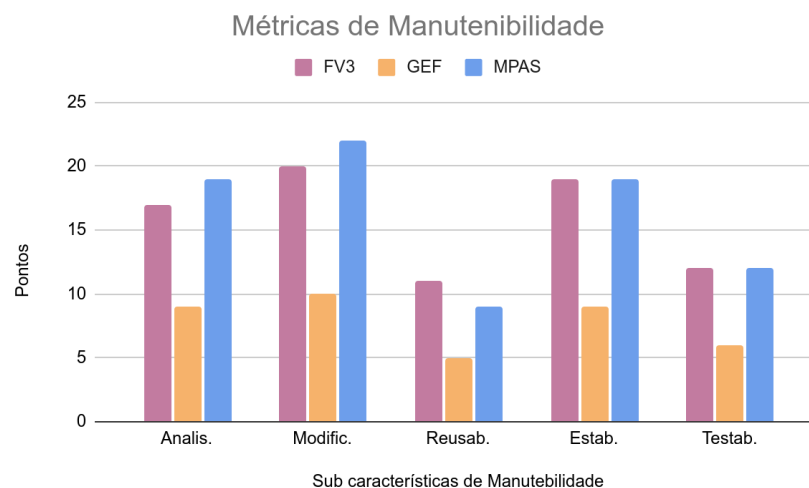


Figura 1 - Métricas das subcaracterísticas da Manutenibilidade com os modelos FV3, GEF e MPAS.

A Figura 1 ilustra graficamente os resultados apresentados na Tabela 3. Verifica-se que os modelos FV3 e MPAS apresentaram mesma pontuação para as características Estabilidade e Testabilidade, enquanto que para Analisabilidade e Modificabilidade, o MPAS teve pontuação ligeiramente superior.

Ao analisar a pontuação do modelo GEF, utilizando todas as métricas possíveis de comparação para os três modelos, verificou-se que todas as suas pontuações em métricas obtiveram valor mínimo. Por esse motivo, o modelo foi considerado insatisfatório com relação ao desempenho em Manutenibilidade e uma nova avaliação foi feita somente com os modelos FV3 e MPAS, incluindo-se todas as métricas possíveis, de onde se obtiveram os resultados apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Análise do conjunto total de métricas e pontuação dos modelos desconsiderando o modelo GEF.

Métricas de Manutenibilidade	Pontuação		Analís.	Modific.	Reusab.	Estab.	Testab.	Analís.	Modific.	Reusab.	Estab.	Testab.
	FV3	MPAS	FV3					MPAS				
Comprimento de código	3	1	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1
Complexidade Ciclomática Média (McCabe)	1	3	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3
Documentação total	1	3	1	1				3	3			
Documentação de arquivos	3	1	3	3				1	1			
Documentação de estruturas de controle	1	3	1	1				3	3			
Tamanho médio das rotinas	3	1	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1
Tamanho médio dos módulos	1	3	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3
Tamanho médio do nome das variáveis	1	3	1	1			1	3	3			3
Razão de <i>only</i> em <i>uses</i>	3	1	3	3		3		1	1		1	
Razão de <i>"goto"</i> e <i>"continue"</i> por laço	1	3	1	1		1		3	3		3	
Razão de <i>"exit"</i> e <i>"cycle"</i> por laço	1	3	1	1		1		3	3		3	
Razão do uso de <i>"implicit"</i>	3	1	3	3		3		3	3		3	
Total de <i>"equivalence"</i> ou <i>"common"</i>	3	3		3		3			3		3	
Profundidade média de laços	3	1	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1
Aninhamento médio de laços	1	3	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3
<i>Fan-in</i> (mesma rotina chamada)	1	3	1	1	1	3	1	3	3	3	1	3
<i>Fan-out</i> (rotinas chamadas por rotina)	3	1		3	3	3	3		1	1	1	1
Aninhamento médio de rotinas	3	1		3	3	3	3		1	1	1	1
TOTAIS	37	41	28	37	20	32	21	38	43	20	28	23

Ao incluir critérios removidos na avaliação com o GEF, a Analisabilidade passa a ser mais importante que a Estabilidade, como apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Pontuação geral dos modelos com maior pontuação por Característica.

	Analís.	Modific.	Reusab.	Estab.	Testab.
FV3	28	37	20	32	21
MPAS	38	43	20	28	23
TOTAL	66	80	40	60	44

A Figura 2 ilustra graficamente os resultados apresentados na Tabela 5, onde se verifica uma superioridade do modelo MPAS nas características de Analisabilidade, Modificabilidade e Testabilidade, enquanto o FV3 supera o MPAS na característica de Estabilidade. Os modelos empataram em termos de Reusabilidade.

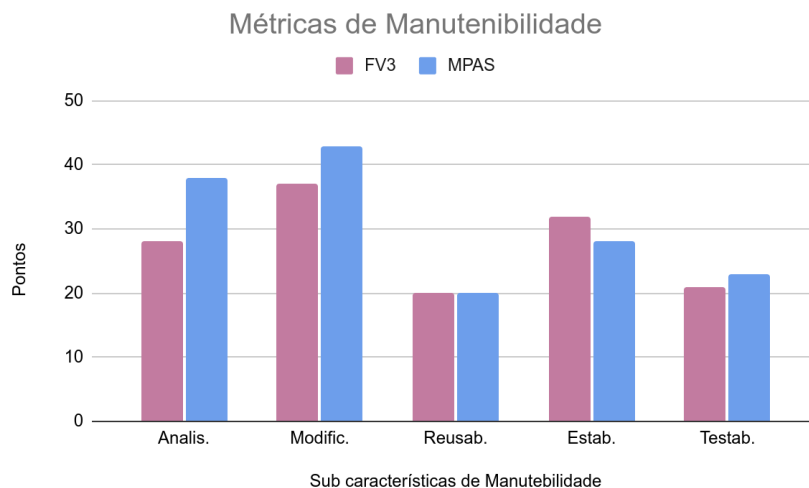


Figura 2 - Métricas das subcaracterísticas da Manutenibilidade com os modelos com maior pontuação.

Conclusão

Ao considerar a avaliação do conjunto total de métricas para os modelos FV3, GEF e MPAS, os resultados indicaram o modelo MPAS com a maior pontuação no quesito Manutenibilidade. Este resultado está associado a uma maior quantidade de Características de Manutenibilidade melhor pontuadas. Tendo em vista que foi identificado que o modelo GEF foi beneficiado em sua pontuação devido à maior quantidade de documentação não informativa, ao número de módulos sem rotinas, bem como rotinas criadas dentro de arquivos sem módulos, os cálculos foram refeitos desconsiderando estas métricas. Posteriormente, devido à menor pontuação gerada com a análise do modelo GEF, fez-se sua exclusão e novamente foram incluídas as métricas desconsideradas. Os resultados indicaram que o MPAS obteve o melhor desempenho em ambas as situações.

Na comparação entre os três modelos, o GEF foi o modelo com menor pontuação em todas as características. Embora o MPAS tenha sido o modelo com maior pontuação, a diferença entre as pontuações das subcaracterísticas do modelo FV3 em relação ao MPAS foi marginal. Nas características de Reusabilidade, o modelo FV3 recebeu pontuações maiores que o MPAS ou GEF. O MPAS recebeu pontuações superiores nas características de Analisabilidade e Modificabilidade. MPAS e GEF empataram nas pontuações de Estabilidade e Testabilidade.

Ao comparar os modelos FV3 e MPAS, considerando todas as métricas possíveis, o FV3 recebeu pontuação superior em Estabilidade, enquanto que o MPAS superou o FV3 em Analisabilidade, Modificabilidade e Testabilidade. Em termos de Reusabilidade a performance foi idêntica. Reforça-se que a Estabilidade, no contexto de Manutenibilidade, avalia a capacidade do software de evitar efeitos colaterais decorrentes de modificações introduzidas. Não se refere à estabilidade de execução dos modelos.

Destaca-se que em termos da Manutenibilidade, os resultados aqui encontrados não são suficientes para eliminar o modelo FV3 da lista de modelos elegíveis para compor o núcleo dinâmico do modelo MONAN. Por outro lado, devido às pontuações encontradas na

análise do modelo GEF, considera-se que este modelo não é elegível para compor o núcleo dinâmico do modelo MONAN.