

DIMENSIONAMENTO DE FUNDAÇÃO EM CONCRETO ARMADO PARA RESERVATÓRIO METÁLICO DE ÁGUA, CONSIDERANDO O EFEITO VENTO

AMANDA TORRES FLAMINI¹
JOÃO PAULO SILVEIRA DE FREITAS²
ANA FLÁVIA RODRIGUES SALES³

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise estrutural baseada nos efeitos do vento em um reservatório de água; e a transferência de cargas por eles gerados, que é direcionada para a base de sustentação de concreto – essa devidamente calculada para receber tal estrutura. As variações apresentadas pelo vento na estrutura interferem diretamente no dimensionamento da seção de concreto e na quantidade de aço necessária. Portanto, há a necessidade de levar-se em conta todos os demais esforços exercidos na estrutura, como a geometria do reservatório, a topografia da região a ser considerada no processo de instalação e a durabilidade esperada. Para o processo de dimensionamento, foram levadas em consideração as velocidades básicas do vento, atendidas a partir da isopleta de velocidades básicas referendada na NBR6123:1998, e definiu-se como parâmetro três velocidades básicas de vento: 30, 37 e 45m/s. Para as análises dos esforços atuantes sobre a estrutura, foi utilizado o software SAP2000 como ferramenta de suporte. Esse sistema utiliza como metodologia a análise de elementos finitos. Foi adotado como premissa o modelo de bloco de coroamento contendo cinco estacas; porém, tal premissa pode variar a depender da capacidade geotécnica do solo de suporte. Como resultados, foram verificados, conforme estabelecido na NBR 6118:2023, os momentos fletores, esforços cortantes, armaduras de flexão, armadura de cisalhamento, fissuras e reações nas estacas para quantificar o impacto da velocidade básica do vento no dimensionamento. As armaduras de flexão encontradas para as três velocidades do estudo foram similares; já os esforços cortantes e as reações nas estacas apresentaram aumento.

Palavras-chave: Dimensionamento, concreto armado, reservatório metálico, efeito vento.

¹ Graduada em Engenharia Civil. Centro Universitário Newton Paiva. E-mail: amanda.tflamini@gmail.com

² Graduado em Engenharia Civil. Centro Universitário Newton Paiva. E-mail: joapaulosilveiradefreitas@gmail.com

³ Bacharel em Engenharia Mecânica, licenciada em Física, pós-graduada em Engenharia de Segurança do Trabalho, pós graduada em Docência do Ensino Superior, Mestre em Engenharia de Materiais e Doutoranda em Engenharia Mecânica. E-mail: ana.sales@newtonpaiva.br

SIZING OF REINFORCED CONCRETE FOUNDATION FOR METALLIC WATER RESERVOIR, CONSIDERING THE WIND EFFECT

ABSTRACT

This work presents a structural analysis based on the effects of wind on a water reservoir; and the transfer of loads generated by them, which is directed to the concrete support base - duly calculated to receive such a structure. The variations presented by the wind in the structure directly affect the sizing of the concrete section and the amount of steel required. Therefore, it is necessary to take into account all the other stresses exerted on the structure, such as the geometry of the reservoir, the topography of the region to be considered in the installation process and the expected durability. For the sizing process, the basic wind speeds were considered, based on the isopleth of basic speeds referenced in NBR6123:1998, and three basic wind speeds were defined as parameters: 30, 37 and 45m/s. To analyse the stresses acting on the structure, SAP2000 software was used as a support tool. This system uses finite element analysis as its methodology. The crowning block model containing five piles was adopted as a premise; however, this premise may vary depending on the geotechnical capacity of the supporting soil. As a result, the bending moments, shear stresses, bending reinforcement, shear reinforcement, cracks and reactions in the piles were checked, in accordance with NBR 6118:2023, to quantify the impact of the basic wind speed on the design. The bending reinforcements found for the three speeds studied were similar, while the shear stresses and pile reactions showed an increase.

Keywords: Design, reinforced concrete, metal reservoir, wind effect.

1. INTRODUÇÃO

O concreto é formado por uma combinação de cimento, areia, água, brita e por vezes aditivos para modificar alguma propriedade da mistura e o concreto armado, além dos componentes citados, agrega aço. Essa combinação é eficiente porque melhora as propriedades. Enquanto o concreto resiste aos esforços de compressão, o aço resiste aos esforços de tração. (BASTOS, 2019). Visando a economia, qualidade e execução adequadas é feito o dimensionamento estrutural das edificações.

O dimensionamento começa na análise estrutural onde são levados em conta os esforços atuantes na estrutura. A norma técnica 6118, recomenda que sejam consideradas as ações permanentes, variáveis e excepcionais atuantes nas estruturas devidamente majoradas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2014).

Com a limitação de crescimento horizontal nos grandes centros urbanos, são construídos prédios cada vez mais altos. O Conselho de Edifícios Altos e Habitat Urbano (*Council on Tall Buildings and Urban Habitat - CTBUH*), que estuda os arranha-céus do mundo, possui uma lista dos 100 maiores do mundo, sendo o maior deles, o Burj Khalifa, em Dubai, com 828 metros. Quanto mais alto o edifício, maior é o esforço causado pelo vento.

A ação do vento é considerada uma ação variável e possui uma norma específica, a ABNT 6123:2013 determina como devem ser considerados os esforços estáticos e dinâmicos provocados pelo vento nas edificações. Para isso, é levado em consideração parâmetros como: velocidade básica do vento, topografia, características do empreendimento e a vida útil que se espera para esta edificação. A pressão do vento obtida é uma força distribuída na face vertical da construção em que há incidência do vento.

Atualmente, uma solução muito empregada em conjuntos habitacionais e comerciais é a utilização de reservatórios metálicos para o abastecimento de água potável. Eles são responsáveis por garantir o fornecimento, reserva de emergência, melhores condições de pressão e dimensionamento do sistema (PEREIRA, 2010). Estes reservatórios, são fixados em uma fundação de concreto armado, distribuindo

as tensões no solo e mantendo a estrutura em equilíbrio. Por tratar de torres esbeltas, possuem alturas elevadas sujeitas a ação do vento.

O trabalho objetiva realizar a atuação do efeito vento em processo de dimensionamento de uma fundação em concreto armado, para reservatório metálico de água, tendo como parâmetro o comparativo de três velocidades básicas do vento diferentes. A fundação do reservatório é modelada utilizando o programa de análise estrutural CIS SAP2000 e os cálculos foram realizados utilizando os parâmetros de relevo e densidade de construção da região metropolitana de Belo Horizonte, mais especificamente na área a ser implantada a fundação.

2. EFEITO VENTO

O vento exerce uma ação importante nas edificações, podendo causar vibrações, deslocamentos, danos ou até mesmo a queda de estruturas. A ação do vento em uma edificação depende de vários fatores, como a velocidade do vento, a forma da edificação, a rugosidade do terreno e as características do entorno.

Os esforços devido ao vento são determinados conforme NBR 6123:1988. Para tal, a pressão dinâmica de vento q é determinada pela expressão:

$$q = 0,613 \times V_k^2 \quad (1)$$

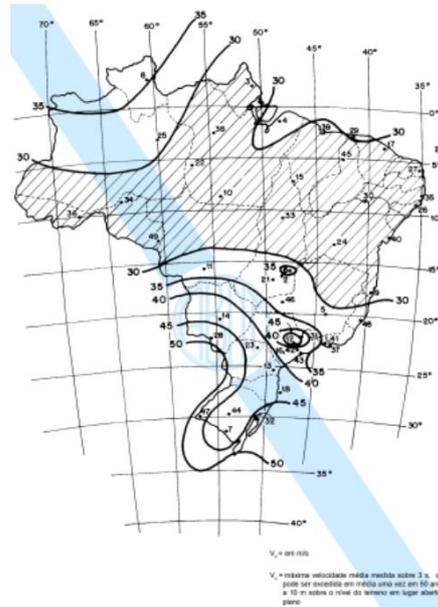
Sendo V_k a velocidade característica do vento em m/s e q obtido em N/m². V_k por sua vez é obtido pela expressão:

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3 \quad (2)$$

Onde S_1 é o fator topográfico, leva em consideração variações no relevo do terreno. S_2 é o fator que combina a rugosidade do terreno com as dimensões da edificação e altura sobre o terreno. É preciso associar uma das cinco categorias com uma das três classes e a altura da edificação. E S_3 é o fator estatístico que determina a vida útil que se espera da edificação e a segurança que se espera dela. Todos esses parâmetros estão estabelecidos em norma.

V_0 é a velocidade básica do vento, atendida a partir das informações meteorológicas disponíveis na região onde a edificação será construída ou pelo mapa das isopleias contido na NBR 6123 e apresentado na figura 1 abaixo.

Figura 1 – Isopletas da velocidade básica V0 (m/s)



Fonte: ABNT NBR 6123:1988

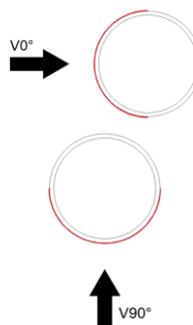
Com base nessas informações, é possível calcular a pressão do vento sobre as superfícies da edificação, que é a força (F_a) que o vento exerce sobre a estrutura. Essa pressão é contínua em Newtons por metro quadrado (N/m^2) e é utilizada no dimensionamento da fundação para resistir às forças do vento.

$$F_a = C_a \times q \times A_e \tag{3}$$

A força é obtida multiplicando-se o coeficiente de arrasto (C_a) pela pressão dinâmica do vento (q) e pela área frontal efetiva da edificação.

A força é considerada em diferentes sentidos e a área de atuação, dependendo do sentido, é diferente, conforme representado na Figura 2 abaixo e é feita a análise dos esforços atuantes na fundação.

Figura 2 – Direções do vento e faces de aplicação



Fonte: Elaborado pelo autor

3. ANÁLISE ESTRUTURAL E DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento estrutural consiste na definição das dimensões e quantidade de aço necessárias para que o arranjo seja estável e transmita os esforços até o solo.

Segundo a NBR 15575, durabilidade é a “capacidade da edificação ou de seus sistemas de desempenhar suas funções, ao longo do tempo e sob condições de uso e manutenção especificadas no manual de uso, operação e manutenção”. Visando a durabilidade das estruturas é importante determinar quais ações físicas e químicas a estrutura estará sujeita. Estes agentes tendem a deteriorar os elementos em concreto e a adoção de cobrimentos, relação água/cimento e classe do concreto adequados são algumas das medidas que retardam este acontecimento.

A Tabela 1 apresenta as classes de agressividade ambiental com base no meio em que a estrutura está inserida. A depender do ambiente, a estrutura tem maior ou menor probabilidade de ser deteriorada.

Tabela 1 – Classe de agressividade ambiental (CAA)

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

Fonte: ABNT NBR 6118:2023

A Tabela 2 apresenta qual a relação água/cimento e a resistência característica do concreto com base na classe de agressividade ambiental.

Tabela 2 – Correspondência entre classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

Fonte: ABNT NBR 6118:2023

A Tabela 3 apresenta quais cobrimentos devem ser adotados para os elementos estruturais em cada classe de agressividade ambiental.

Tabela 3 – Correspondência entre a classe de agressividade ambiental e o cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (Tabela 6.1)			
		I	II	III	IV ^c
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje ^b	20	25	35	45
	Viga/pilar	25	30	40	50
	Elementos estruturais em contato com o solo ^d	30		40	50
Concreto protendido ^a	Laje	25	30	40	50
	Viga/pilar	30	35	45	55

Fonte: ABNT NBR 6118:2023

Para o dimensionamento de estruturas de concreto armado é necessário fazer o levantamento de todas as ações que ela estará exposta. Essas ações podem ser classificadas em três categorias: permanentes, variáveis e excepcionais. Ao atuarem na estrutura desenvolvem esforços externos, esforços internos solicitantes e deformações (CAMPOS, 2015). Elas podem levar a estrutura a atingir os estados-limites, últimos e de serviço.

Os estados limites últimos são aqueles que levam a paralisação total ou em partes da construção e os estados limites de serviço podem comprometer a durabilidade da estrutura por se tratar de condições que não respeitam o uso normal da construção (ABNT, 2004). As ações são combinadas, devidamente ponderadas conforme a NBR 8681:2004 e aplicadas no modelo para análise estrutural.

Outro aspecto importante é a caracterização do solo. Um método muito utilizado é a realização de sondagens para determinação dos tipos de solos, perfis geológicos, consistência dos solos, além da capacidade de carga das camadas do subsolo (DE CASTRO, 2016). O tipo de solo e a presença ou ausência de água são alguns dos fatores que determinam qual o tipo de fundação que será empregada, se rasa ou profunda.

O presente estudo trata de blocos de coroamento com estacas. Segundo a NBR 6122, bloco de coroamento é um bloco estrutural que transfere a carga dos

pilares para os elementos da fundação profunda (ABNT, 2022). Ainda segundo esta norma técnica, a profundidade de apoio não pode ser inferior a 1,5 m ou até que a cota de apoio assegure a capacidade de suporte do solo.

A armadura mínima é obtida pela tabela 1 encontrada no item 17.3 da NBR 6118:2023 e apresentada abaixo.

Tabela 4 – Taxas mínimas de armadura de flexão

Forma da seção	Valores de ρ_{\min}^a ($A_{s,\min}/A_c$) %														
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Retangular	0,150	0,150	0,150	0,164	0,179	0,194	0,208	0,211	0,219	0,226	0,233	0,239	0,245	0,251	0,256

^a Os valores de ρ_{\min} estabelecidos nesta Tabela pressupõem o uso de aço CA-50, $d/h = 0,8$ e $\gamma_c = 1,4$ e $\gamma_s = 1,15$. Caso esses fatores sejam diferentes, ρ_{\min} deve ser recalculado.

Fonte: ABNT NBR 6118:2023

As armaduras são definidas com base nas seguintes fórmulas:

Armaduras negativas: $\rho_s \geq \rho_{\min}$

Armaduras positivas de lajes armadas nas duas direções: $\rho_s \geq 0,67\rho_{\min}$

4. DESENVOLVIMENTO

Como premissa do estudo, será considerado que os reservatórios foram implantados em uma área urbana. A ABNT NBR 6118:2023 considera, para este caso, que a agressividade ambiental é moderada pois o risco de deterioração da estrutura é baixo. Com a classe de agressividade é possível determinar parâmetros como a relação água/cimento e a classe do concreto. Para este estudo a relação água/cimento precisa ser menor ou igual a 0,60 e a classe do concreto maior ou igual a C25, ou seja, a resistência característica do concreto empregado na fundação precisa ser maior ou igual a 25 MPa. O cobrimento de elementos de concreto armado em contato com o solo é de 3 cm para a classe de agressividade ambiental moderada.

A especificação do fornecedor do reservatório apresenta as informações da estrutura metálica como capacidade total, peso, inseridos metálicos, entre outras informações. Por se tratar de um estudo, foi estimado um peso de 21.385 kg para um reservatório com capacidade de 310 m³, 3,82 m de diâmetro e 29,05 m de altura.

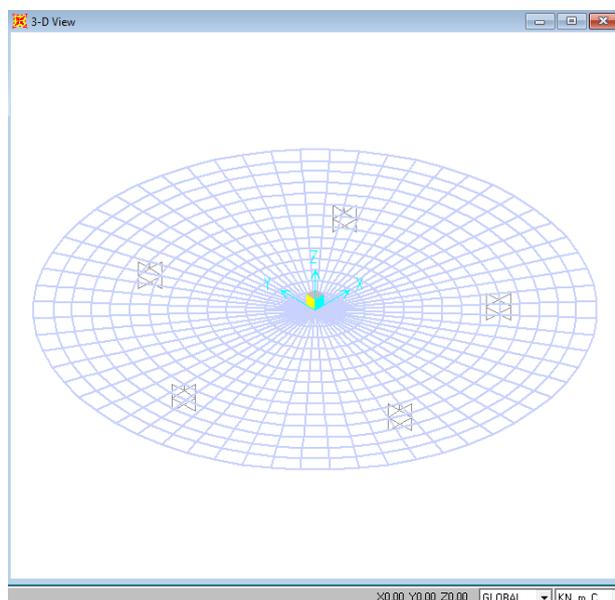
Foi elaborado um modelo da fundação no software de análise estrutural CIS SAP2000 com as dimensões da fundação (diâmetro e espessura), resistência do concreto, peso específico e as estacas (representadas como apoios fixos).

Por se tratar de um software de elementos finitos, quanto menor os elementos que compõem a estrutura, os resultados são mais próximos da realidade.

Outra premissa definida no estudo em questão é que seriam adotadas quatro estacas hélices contínuas para transmitir os esforços para o solo. Como não é tratativa deste estudo o dimensionamento das estacas, será apresentada apenas a influência da velocidade nas reações verticais, horizontais e momentos que são transmitidas a elas.

A Figura 3 apresenta o modelo desenvolvido.

Figura 3 – Modelo da fundação – CIS SAP2000



Fonte: Elaborado pelo autor

A espessura da fundação foi definida para que a fundação se comportasse como corpo rígido trabalhando à flexão nas duas direções, com trações concentradas

sobre as estacas. As cargas são transmitidas do pilar para as estacas por bielas de compressão e as ruínas são causadas pela compressão delas. Também há trabalho ao cisalhamento nas duas direções (NBR 6118:2023).

Foram escolhidas três velocidades básicas do vento, 30, 37 e 45 m/s pois são a menor, a intermediária e a maior entre as isopletas que exercem influência no Brasil, conforme apresentado na Figura 1 do item 2. Os esforços foram calculados como apresentado no item 2. A Tabela 5 apresenta o resumo dos esforços.

Tabela 5 – Cálculo dos esforços devido ao vento

Parâmetros Adotados	V1	V2	V3
V_0	30	37	45
S_1	1	1	1
S_2	0,96	0,96	0,96
S_3	1	1	1
V_k	28,8	35,52	43,2
q	0,51	0,77	1,14
l_1	3,82	3,82	3,82
h	29,05	29,05	29,05
Área	174,31	174,31	174,31
C_a	1,1	1,1	1,1
F_h	97,49	148,30	219,36
M	1416,07	2153,99	3186,15
h/l_1	7,60	7,60	7,60

Sendo:

l_1 = diâmetro do reservatório (m);

h = altura do reservatório (m);

Área = área da face do reservatório em que o vento exerce influência (m²);

F_h = força horizontal (kN);

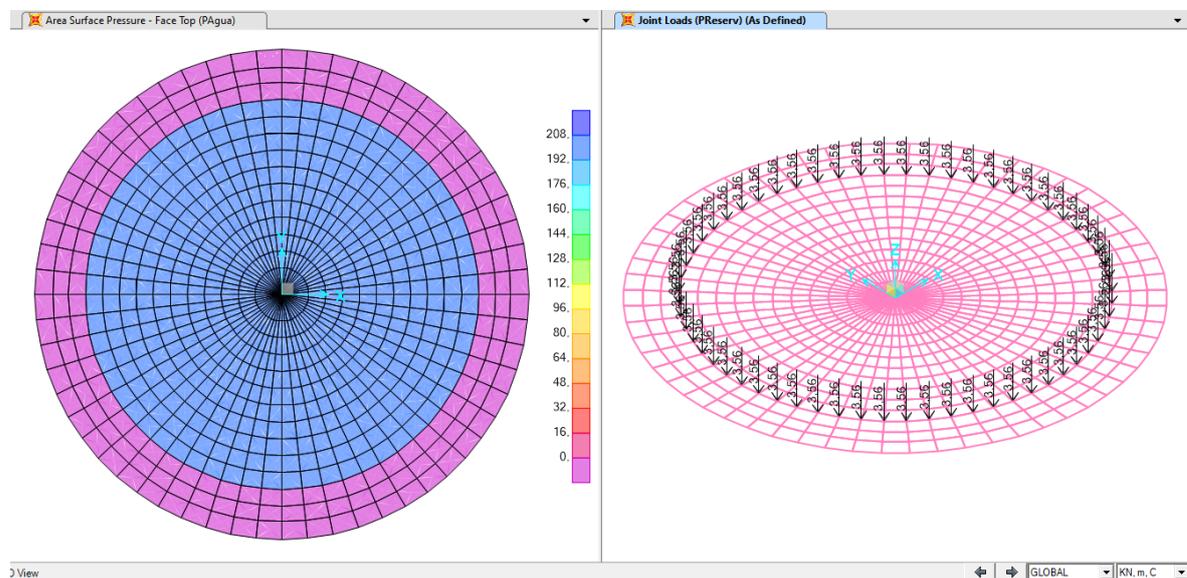
M = momento fletor (kN.m)

Os coeficientes e constantes foram definidos com base nas premissas estabelecidas na NBR 6123:2013. S_1 foi considerado igual a 1,00 pois considerou-se um terreno plano ou levemente acidentado. O terreno foi considerado da categoria IV

com obstáculos numerosos ou pouco espaçados em zona urbanizada e classe B por se tratar de uma edificação com dimensão frontal total entre 20 e 50 m. Com essas duas informações é definido S_2 com valor de 0,96. A edificação é de comércio ou indústria com alto fator de ocupação, por isso, S_3 é igual a 1,00. O coeficiente de arrasto para elementos circulares com relação h/l_1 próxima de 10 é 1,10.

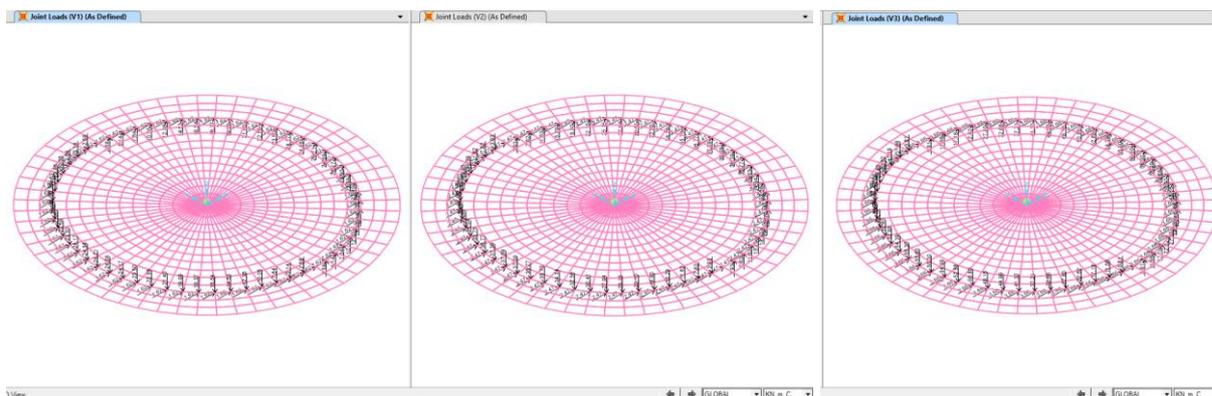
Foram considerados carregamento de peso próprio da fundação, peso do reservatório, peso de água, forças horizontais e verticais causadas pelo vento. O peso próprio da fundação é calculado automaticamente pelo SAP2000 com o peso específico e as espessuras que compõe os elementos. O peso de água é obtido multiplicando-se a capacidade total do reservatório pelo peso específico da água (10 kN/m^3) e distribuindo pela área de contato reservatório/fundação. As forças horizontais e verticais resultantes do vento são obtidas conforme apresentado no item 2 e distribuídas nos nós da circunferência do reservatório. As Figura 4 e Figura 5 apresentam os carregamentos aplicados no modelo.

Figura 4 – Carregamentos de Peso de Água e Peso do Reservatório



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 5 – Carregamentos de vento para as velocidades de 30, 37 e 45 m/s



Fonte: Elaborado pelo autor

Os carregamentos são combinados para obter as piores situações de carregamento e as envoltórias de cada caso combinam os piores resultados em todos os elementos conforme apresentado na Tabela 6 abaixo.

Os prefixos 1, 2 e 3 são as combinações para as três velocidades básicas do vento estudadas. A combinação com sufixo COMB1 se trata da combinação com o reservatório em sua capacidade máxima de água. O sufixo COMB2 se trata do reservatório também em sua capacidade máxima, mas com a atuação do vento. Por fim, o sufixo COMB3 se trata do reservatório vazio com a atuação do vento. As envoltórias mostram as piores situações de carregamento para cada velocidade básica.

Tabela 6 – Combinações utilizadas no dimensionamento

TABLE: Combination Definitions				
ComboName	ComboType	CaseType	CaseName	ScaleFactor
Text	Text	Text	Text	Unitless
1-COMB1	Linear Add	Linear Static	DEAD	1
		Linear Static	PReserv	1
		Linear Static	PÁgua	1
1-COMB2	Linear Add	Linear Static	DEAD	1
		Linear Static	PReserv	1
		Linear Static	PÁgua	1
		Linear Static	V1	1
1-COMB3	Linear Add	Linear Static	DEAD	1
		Linear Static	PReserv	1
		Linear Static	V1	1
2-COMB2	Linear Add	Linear Static	DEAD	1
		Linear Static	PReserv	1
		Linear Static	PÁgua	1
		Linear Static	V2	1
2-COMB3	Linear Add	Linear Static	DEAD	1
		Linear Static	PReserv	1
		Linear Static	V2	1
3-COMB2	Linear Add	Linear Static	DEAD	1
		Linear Static	PReserv	1
		Linear Static	PÁgua	1
		Linear Static	V3	1
3-COMB3	Linear Add	Linear Static	DEAD	1
		Linear Static	PReserv	1
		Linear Static	V3	1
ENV1	Envelope	Response Combo	1-COMB1	1
		Response Combo	1-COMB2	1
		Response Combo	1-COMB3	1
ENV2	Envelope	Response Combo	1-COMB1	1
		Response Combo	2-COMB2	1
		Response Combo	2-COMB3	1
ENV3	Envelope	Response Combo	1-COMB1	1
		Response Combo	3-COMB2	1
		Response Combo	3-COMB3	1

No dimensionamento é necessário dimensionar as armaduras com base nos esforços solicitantes, verificar a necessidade da armadura de cisalhamento, verificar deslocamentos, fissuração, reação nas estacas e dimensionamento delas.

5. RESULTADOS

A seguir, são apresentados os resultados obtidos na análise estrutural do modelo desenvolvido, bem como a apresentação dos diagramas de momento fletor e esforço cortante para as envoltórias das combinações.

Os momentos fletores não aumentam de maneira significativa, no caso do momento fletor M_{11} , nas regiões em que não há estacas, esse aumento é da ordem de 10 kNm comparando as duas primeiras velocidades e 40 kN.m comparando as duas últimas. O mesmo ocorre para o momento fletor M_{22} . Isso pode ser explicado pelo fato de a espessura adotada para a fundação ser elevada, por isso, o maciço de concreto resiste e distribui bem os esforços para as estacas.

A armadura mínima para a seção estudada seria $18 \text{ cm}^2/\text{m}$, independente da envoltória analisada, conforme estabelecido pela NBR 6118:2023. Porém, quando a armadura é dimensionada para duas vezes o momento fletor atuante, não é necessário adotar a armadura mínima. Por se tratar de esforços pequenos, poderia ser adotada armadura $6,14 \text{ cm}^2$ para a fundação, com reforços de $6,14 \text{ cm}^2$ concentrados na região das estacas.

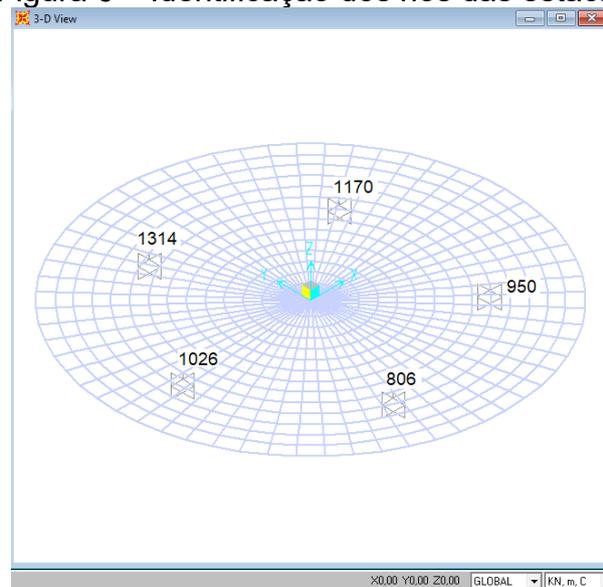
Nas Figura 13, Figura 14 e Figura 15 do **ANEXO 1** é possível ver os diagramas de esforço cortante para as piores combinações. Graficamente é perceptível que a área da fundação em que é necessário armadura de cisalhamento é maior à medida que a velocidade aumenta. Este aumento é da ordem de 200 kN da primeira velocidade estudada comparada à segunda e 400 kN comparando a segunda velocidade com a terceira.

Outro critério que deve ser verificado no dimensionamento é a fissuração dos elementos quando submetidos a flexão. Para todos os casos as fissuras encontradas são menores que as estabelecidas em norma.

A Figura 6 apresenta a identificação dos nós das estacas e a

Tabela 7 são apresentadas as reações nas estacas.

Figura 6 – Identificação dos nós das estacas



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 7 – Reação nas Estacas

TABLE: Joint Reactions									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
806	ENV1	Combination	Max	0,00	1,11	726,88	54,97	27,57	0,00
806	ENV1	Combination	Min	-20,97	0,00	250,98	-12,44	-17,86	-0,03
806	ENV2	Combination	Max	0,00	1,70	778,90	54,97	40,27	0,00
806	ENV2	Combination	Min	-31,98	0,00	303,00	-54,97	-17,86	-0,04
806	ENV3	Combination	Max	0,00	2,51	851,65	54,97	58,04	0,00
806	ENV3	Combination	Min	-47,38	0,00	375,75	-15,74	-17,86	-0,06
950	ENV1	Combination	Max	0,00	0,00	627,04	38,25	76,16	0,00
950	ENV1	Combination	Min	-18,86	-1,80	-110,21	-1,78	21,07	-0,02
950	ENV2	Combination	Max	0,00	0,00	627,04	40,47	91,48	0,00
950	ENV2	Combination	Min	-28,75	-2,75	-246,41	0,45	36,39	-0,02
950	ENV3	Combination	Max	0,00	0,00	627,04	43,59	112,91	0,00
950	ENV3	Combination	Min	-42,60	-4,07	-436,88	3,56	46,76	-0,04
1026	ENV1	Combination	Max	0,00	0,00	950,08	0,00	42,80	0,00
1026	ENV1	Combination	Min	-17,55	0,00	474,18	0,00	-57,80	0,00
1026	ENV2	Combination	Max	0,00	0,00	1118,43	0,00	59,74	0,00
1026	ENV2	Combination	Min	-26,75	0,00	627,04	0,00	-57,80	0,00
1026	ENV3	Combination	Max	0,00	0,00	1353,88	0,00	83,44	0,00
1026	ENV3	Combination	Min	-39,64	0,00	627,04	0,00	-57,80	0,00
1170	ENV1	Combination	Max	0,00	1,80	627,04	1,78	76,16	0,02
1170	ENV1	Combination	Min	-18,86	0,00	-110,21	-38,25	21,07	0,00
1170	ENV2	Combination	Max	0,00	2,75	627,04	-0,45	91,48	0,02
1170	ENV2	Combination	Min	-28,75	0,00	-246,41	-40,47	36,39	0,00
1170	ENV3	Combination	Max	0,00	4,07	627,04	-3,56	112,91	0,04
1170	ENV3	Combination	Min	-42,60	0,00	-436,88	-43,59	46,76	0,00
1314	ENV1	Combination	Max	0,00	0,00	726,88	12,44	27,57	0,03
1314	ENV1	Combination	Min	-20,97	-1,11	250,98	-54,97	-17,86	0,00
1314	ENV2	Combination	Max	0,00	0,00	778,90	13,81	40,27	0,04
1314	ENV2	Combination	Min	-31,98	-1,70	303,00	-54,97	-17,86	0,00
1314	ENV3	Combination	Max	0,00	0,00	851,65	15,74	58,04	0,06
1314	ENV3	Combination	Min	-47,38	-2,51	375,75	-54,97	-17,86	0,00

Como é possível observar, todas as reações verticais aumentam à medida que a velocidade básica do vento aumenta. Para o nó mais carregado verticalmente, a estaca de nó número 1026, os valores das reações verticais foram de 950 kN para a envoltória 1, 1118 kN para a envoltória 2 e 1353 kN para a envoltória 3. Com isso, houve um aumento de cerca de 20% no esforço vertical aumentando-se 7 m/s na velocidade básica.

A Tabela 8, a seguir, apresenta um resumo dos resultados obtidos.

Tabela 8 – Resumo dos Resultados Obtidos

Velocidade	Momento Fletor atuante (kN.m)	Armadura de Flexão (cm ² /m)	Força Cortante (kN)	Armadura de Cisalhamento (cm ² /m ²)	Fissuração (mm)	Reação na Estaca Mais Carregada (kN)
V1	70	ø12,5 c/20 + Reforço ø12,5 c/20	1800	35	0,025	950
V2	80	ø12,5 c/20 + Reforço ø12,5 c/20	2000	41	0,035	1118
V3	120	ø12,5 c/20 + Reforço ø12,5 c/20	2400	54	0,056	1353

6. CONCLUSÕES

Dimensionamento de fundação em concreto armado para reservatório metálico de água, considerando o efeito do vento, é um processo complexo e crucial para garantir a estabilidade e segurança da estrutura.

Neste trabalho, foram analisados os efeitos do vento no dimensionamento da fundação de um reservatório metálico de água, levando-se em conta os esforços exercidos pelo vento, a geometria do reservatório, a topografia da região e a durabilidade esperada.

Para realizar o dimensionamento, foram consideradas as velocidades básicas do vento, de acordo com a NBR6123:1998. Três velocidades básicas foram adotadas como parâmetros: 30, 37 e 45m/s.

Utilizando o software SAP2000, foi realizada a análise de elementos finitos, levando em consideração um modelo de bloco de coroamento com cinco estacas. Os

resultados obtidos mostraram que, conforme esperado, houve um aumento nos esforços atuantes na fundação com o aumento da velocidade básica do vento.

O item que apresentou maior variação foram as reações nas estacas. Esses resultados são essenciais para o dimensionamento adequado da fundação, visando garantir a estabilidade da estrutura. No entanto, é importante ressaltar que o dimensionamento da fundação não se resume apenas ao efeito do vento. Verificações complementares precisam ser feitas, como a capacidade geotécnica do solo e a armadura das estacas.

O solo de suporte da fundação deve ser capaz de suportar os esforços exercidos pela estrutura, e a armadura das estacas deve ser dimensionada corretamente para garantir a estabilidade. Além disso, o dimensionamento da fundação também deve levar em consideração outros fatores, como a geometria do reservatório e a topografia da região.

A geometria do reservatório influencia diretamente no dimensionamento da seção de concreto e na quantidade de aço necessária. Já a topografia da região pode afetar a distribuição das cargas na fundação. Portanto, esses fatores também devem ser analisados cuidadosamente no processo de dimensionamento.

Em conclusão, a análise dos efeitos do vento no dimensionamento da fundação de um reservatório metálico de água é essencial para garantir a estabilidade e segurança da estrutura. Os resultados obtidos indicaram um aumento nos esforços atuantes com o aumento da velocidade básica do vento. No entanto, verificações complementares, como a capacidade geotécnica do solo e a armadura das estacas, precisam ser consideradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6122: Projeto e execução de fundações**. Rio de Janeiro. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas – Procedimento**. Rio de Janeiro. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1: Edificações habitacionais — Desempenho - Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro. 2021.

BASTOS, Paulo Sérgio. **FUNDAMENTOS DO CONCRETO ARMADO**. Notas de aula na disciplina de Estruturas de Concreto I. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Bauru, SP. 2019.

CAMPOS, João Carlos de. Elementos de fundações em concreto. 1ª Edição. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2015.

COUNCIL ON TALL BUILDINGS AND URBAN HABITAT (CTBUH). **100 Edifícios Concluídos Mais Altos do Mundo**. The Skyscraper Center. Disponível em: <https://www.skyscrapercenter.com/buildings>. Acesso em: 10 mar, 2023.

DE CASTRO, Bruno Carrilho et al. **Perfis geotécnicos da cidade de Palmas-TO por meio de sondagens SPT e ensaios geofísicos**. 2016.

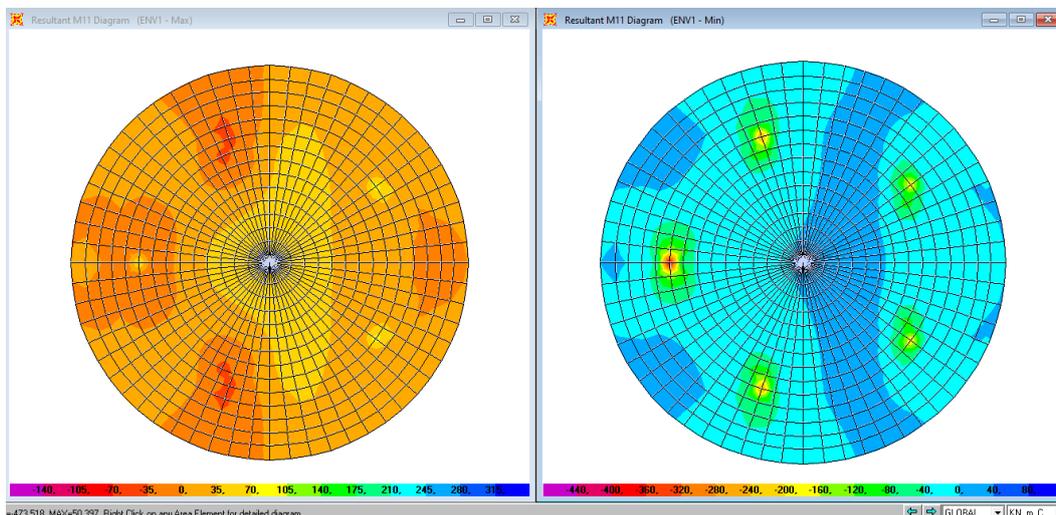
PEREIRA, E. A. **Patologias em reservatórios de água potável e sua correção.**
Dissertação do Instituto Politécnico de Lisboa, Portugal, 2010.

PEREIRA, E. A. **Patologias em reservatórios de água potável e sua correção.**
Dissertação do Instituto Politécnico de Lisboa, Portugal, 2010.

ANEXO 1

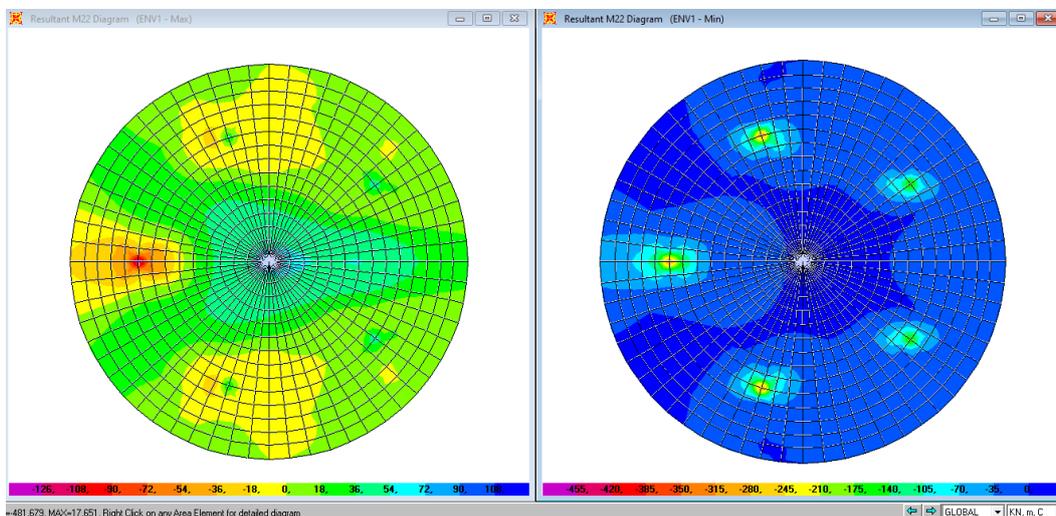
Apresentam-se, a seguir, os diagramas de momentos fletores e cisalhamento para as envoltórias estudadas.

Figura 7 – Envoltória 1 – Momentos Fletores Máximos e Mínimos M_{11}



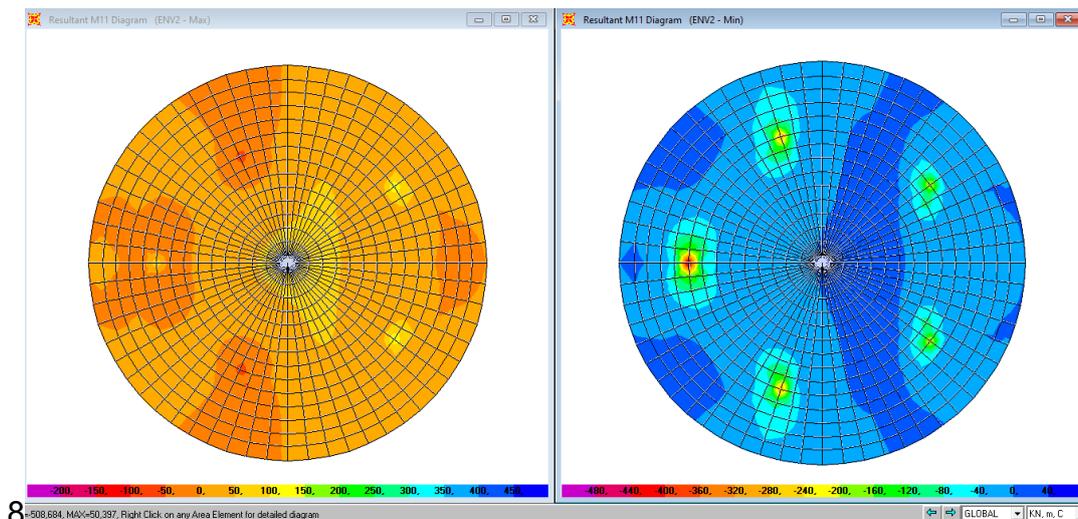
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 8 – Envoltória 1 – Momentos Fletores Máximos e Mínimos M_{22}



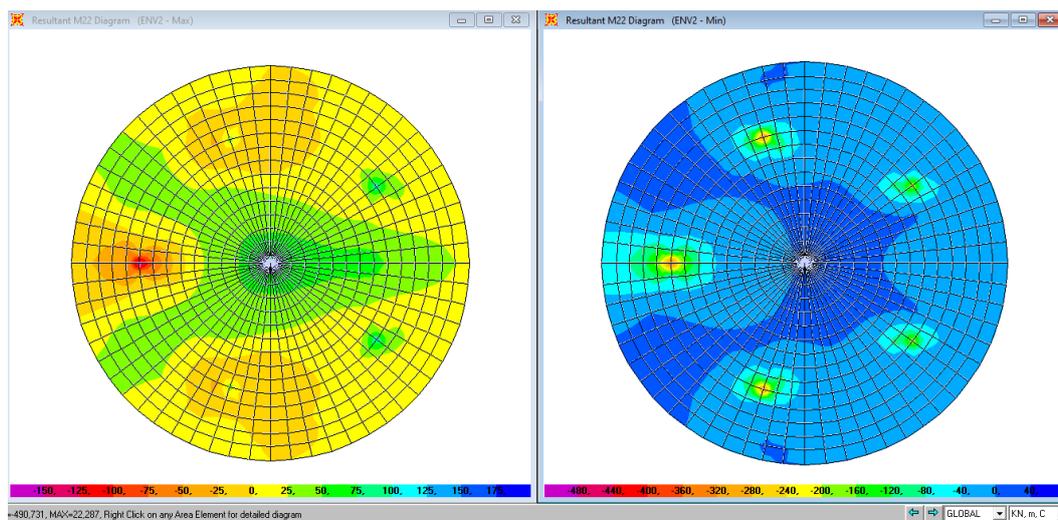
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 9 – Envoltória 2 – Momentos Fletores Máximos e Mínimos M11



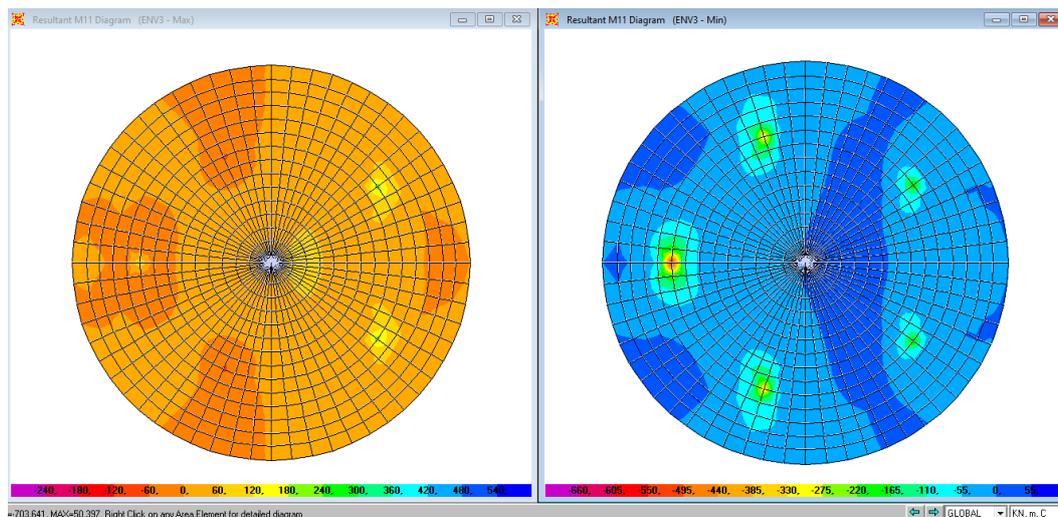
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 10 – Envoltória 2 – Momentos Fletores Máximos e Mínimos M22



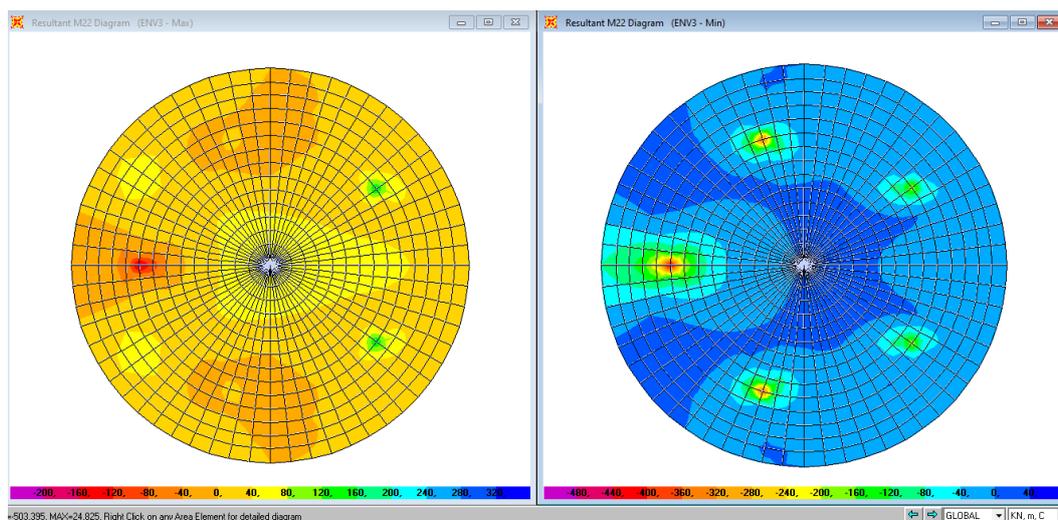
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 11 – Envoltória 3 – Momentos Fletores Máximos e Mínimos M_{11}



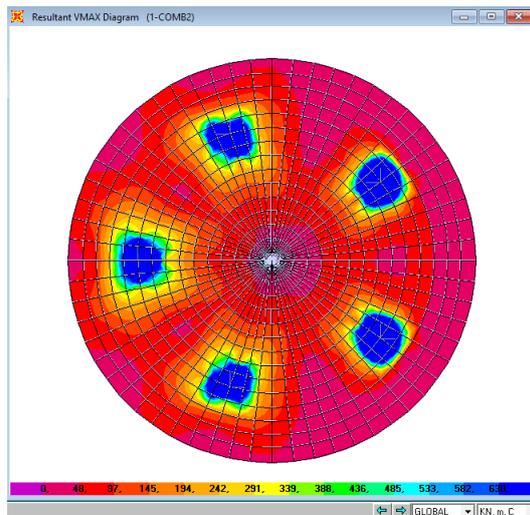
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 12 – Envoltória 3 – Momentos Fletores Máximos e Mínimos M_{22}



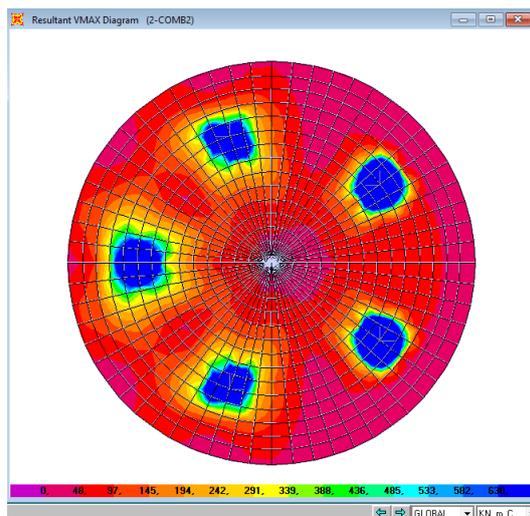
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 13 – Esforços Cortantes Máximos para $V_0 = 30$ m/s



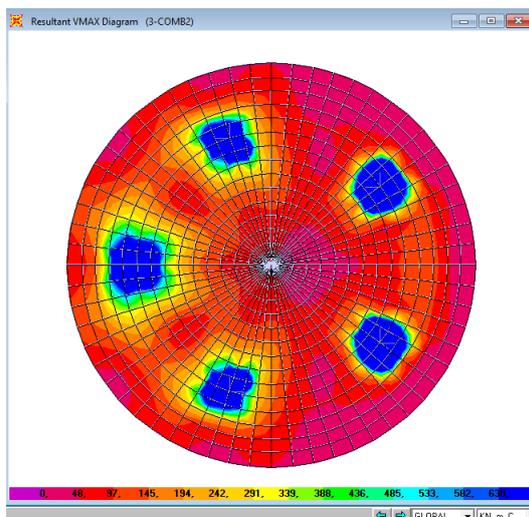
Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 14 – Esforços Cortantes Máximos para $V_0 = 37$ m/s



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 15 – Esforços Cortantes Máximos para $V_0 = 45$ m/s



Fonte: Elaborado pelo autor