

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO  
DIRETORIA DE CIÊNCIAS EXATAS  
ENGENHARIA CIVIL

JOSÉ AIRTON CARDOSO ARAUJO JUNIOR  
LUCAS DE OLIVEIRA NUNES

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – STRUCTURE ACTIONS**  
FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA CÁLCULO DE COMBINAÇÕES DE  
AÇÕES EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

PROF.º ME. JORGE ALBERTO CECIN

São Paulo  
2020

JOSÉ AIRTON CARDOSO ARAUJO JUNIOR  
LUCAS DE OLIVEIRA NUNES

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – STRUCTURE ACTIONS**  
**FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA CÁLCULO DE COMBINAÇÕES DE**  
**AÇÕES EM ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
à Universidade Nove de Julho - UNINOVE, como parte  
das exigências para a obtenção do título de bacharel em  
engenharia civil.

Orientadores: Prof.º Me. Jorge Alberto Cecin

São Paulo  
2020

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos primeiramente a Deus por ter nós colocado nesse caminho juntos, praticamente desde o começo da formação e assim fazendo com que um ajuda-se ao outro.

Em segundo lugar as nossas esposas por ter nós incentivado e ter tido compreensão nos momentos mais difíceis, também queremos agradecer a todos os familiares e amigos de alguma forma ajudaram em nossa formação.

Uma pessoa importante para o desenvolvimento desse TCC e que merece um agradecimento especial é o tio do Jose Airton, chamado Marcio Ribeiro, ele quem ensinou o Jose a programar e ajudou com dicas importantes para chegar na ferramenta desenvolvida.

Por último e não menos importante, queremos agradecer a todos os professores, em especial o Prof. Me. Jorge que nos ajudou no desenvolvimento desse trabalho e a toda equipe da UNINOVE, pois cada profissional teve seu papel de importância para a nossa formação e este conhecimento levaremos conosco para o resto de nossas vidas!

## RESUMO

Com estudo de todas as possíveis ações e as combinações que podem ser feitas a partir de cada uma delas, além de uma boa análise da norma NBR6118, chega-se ao conhecimento de todas as ações que podem de alguma forma apresentar uma situação desfavorável para uma estrutura, seja no estado limite ultimo ou no estado limite de serviço.

Com isso foi desenvolvido uma ferramenta computacional que automatiza todas essas combinações tornando possível cálculos precisos em pouco tempo, além de minimizar as chances de erros na hora de desenvolvê-los.

Com essa ferramenta a construção civil ganha um grande aliado na hora de projetar, auxiliando e resolvendo problemas que antes era necessário tempo e muita atenção para realizar tornando possível e viável projetos que antes demandavam muito trabalho.

**Palavras-chaves:** Ações. Combinações de Ações. Estrutura de Concreto. Ferramenta Computacional.

## **ABSTRACT**

With study of all possible actions and the combinations that can be made from each one of them, in addition to a good analysis of the NBR6118 standard, to the knowledge of all actions that may somehow present an unfavorable situation for a structure, either in the last limit state or in the service limit state.

With this, a computational tool was developed that automates all these combinations, making possible precise calculations in a short time, besides minimizing the chances of errors while developing them.

With this tool, civil construction gains a great ally when it comes to designing, helping and solving problems that previously needed time and a lot of attention to carry out, making possible and viable projects that previously required a lot of work.

**Key-words:** Actions. Actions Combinations. Concrete Structure. Computational Tool.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – VERIFICAÇÕES PARA O ESTADO LIMITE ÚLTIMOS.....	12
FIGURA 2 – COEFICIENTE DE COMBINAÇÃO ( $\psi_0$ ) E REDUÇÃO ( $\psi_1$ E $\psi_2$ ).....	16
FIGURA 3 – COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO .....	17
FIGURA 4 – COMBINAÇÕES ÚLTIMAS .....	17
FIGURA 5 – COMBINAÇÕES DE SERVIÇO .....	19
FIGURA 6 – TIPO DE CONCRETO ESTRUTURAL POR COMBINAÇÕES DE SERVIÇOS (ELS) .....	20
FIGURA 7 – SPLASH SCREEN .....	25
FIGURA 8 – TELA HOME .....	26
FIGURA 9 – JANELA CRIAR NOVO.....	27
FIGURA 10 – JANELA DE LISTA DE AÇÕES .....	28
FIGURA 11 – JANELA DE ADIÇÃO E EDIÇÃO DAS AÇÕES.....	30
FIGURA 12 – JANELA DE CONFIGURAÇÃO DAS AÇÕES – AÇÕES VARIÁVEIS .....	30
FIGURA 13 – JANELA DE RESULTADO .....	31
FIGURA 14 – EXEMPLO DE ARQUIVO CSV NO EXCEL.....	32
FIGURA 15 – EXEMPLO DE ARQUIVO CSV NO EDITOR DE TEXTO.....	32
FIGURA 16 – EXEMPLO DO CABEÇALHO NO EXCEL .....	34
FIGURA 17 – EXEMPLO DO CABEÇALHO NO EDITOR DE TEXTO .....	34
FIGURA 18 – SIMULAÇÃO – CRIAR NOVO .....	35
FIGURA 19 – SIMULAÇÃO – DEFINIÇÕES INICIAIS .....	36
FIGURA 20 – SIMULAÇÃO – LISTA DE AÇÕES .....	36
FIGURA 21 – SIMULAÇÃO – INSERÇÃO DO PESO PRÓPRIO.....	37
FIGURA 22 – SIMULAÇÃO – LISTA DE AÇÕES COM O PESO PRÓPRIO.....	37
FIGURA 23 – SIMULAÇÃO – INSERÇÃO DA SOBRECARGA.....	38
FIGURA 24 – SIMULAÇÃO – INSERÇÃO DO VENTO .....	38
FIGURA 25 – SIMULAÇÃO – INSERÇÃO DA CARGA ACIDENTAL .....	39
FIGURA 26 – SIMULAÇÃO – LISTA DE AÇÕES COMPLETA .....	39
FIGURA 27 – SIMULAÇÃO – BOTÃO PARA O RESULTADO.....	40
FIGURA 28 – SIMULAÇÃO – RESULTADO .....	40
FIGURA 29 – SIMULAÇÃO – GERAR PDF .....	41
FIGURA 30 – SIMULAÇÃO – VISUALIZAÇÃO DO PDF .....	41
FIGURA 31 – SIMULAÇÃO – SALVAR AÇÕES.....	42
FIGURA 32 – SIMULAÇÃO – CSV NO EXCEL .....	42

FIGURA 33 – SIMULAÇÃO – CSV NO EDITOR DE TEXTO .....	43
FIGURA 34 – SIMULAÇÃO – ABRIR ARQUIVO CSV .....	43

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	8
2 OBJETIVO .....	9
3 METODOLOGIA.....	10
4 JUSTIFICATIVA .....	11
5 ESTADOS LIMITES .....	12
5.1 ESTADOS-LIMITES ÚLTIMOS (ELU).....	12
5.2 ESTADOS-LIMITES DE SERVIÇO (ELS).....	13
6 AÇÕES .....	14
6.1 AÇÕES PERMANENTES .....	14
6.2 AÇÕES VARIÁVEIS .....	15
7 COMBINAÇÕES DE AÇÕES.....	16
7.1 COMBINAÇÕES DO ESTADO LIMITE ÚLTIMO .....	16
7.1.1 Combinações Normais .....	18
7.1.2 Combinações Especiais ou de Construções .....	18
7.1.3 Combinações Excepcionais .....	18
7.2 COMBINAÇÕES DO ESTADO LIMITE SERVIÇO .....	19
7.2.1 Combinações Quase Permanentes de Serviço .....	20
7.2.2 Combinações Frequentes de Serviço .....	20
7.2.3 Combinações Raras de Serviço .....	21
8 RECUSOS DO DESENVOLVIMENTO.....	22
8.1 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO - C#.....	22
8.2 PROGRAMAÇÃO ORIENTADA À OBJETO (POO) .....	23
8.3 VISUAL STUDIO 2019 – IDE .....	24
9 FERRAMENTA COMPUTACIONAL .....	25
9.1 TELA E JANELAS .....	25
9.2 ARQUIVO DE IMPORTAÇÃO .....	31
10 SIMULAÇÃO DE USO .....	35
11 CONCLUSÃO.....	44
REFERÊNCIAS .....	45



## 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento de todas as ações que agem em uma construção, além de todas as suas combinações possíveis que possam de alguma forma exigir de seus componentes construtivos, é de extrema importância. O estudo de seus efeitos e possíveis soluções são fundamentais para a escolha correta de todo o processo construtivo.

Sabendo de como é trabalhoso e indispensável o cálculo da combinação das ações em uma estrutura e que muitas vezes causam danos humanos e materiais por algum erro na hora de executar ou até mesmo calcular, foi desenvolvida uma ferramenta computacional de cálculos que auxiliará estudantes e até mesmo engenheiros, que de alguma forma irão precisar desses cálculos, minimizando erros e otimizando os resultados que por serem complicados e muitas vezes precisam de várias combinações exigem precisão e rapidez.

Essa ferramenta automatizará cálculos e combinações além de ser de fácil entendimento para que até mesmo pessoas que tenham dificuldade de executar algum tipo de programa, fazer os cálculos com rapidez e facilidade, obtendo resultados precisos e satisfatório. Com uma linguagem simples e de fácil entendimento, e indicação de possíveis erros, para que fique simples e rápido até a hora de fazer a escolha.

Com isso será fácil calcular os esforços nas estruturas de vários tipos de construção, e a partir daí fazer o dimensionamento necessário dos elementos estruturais para um bom processo da construção, analisando qualquer imprevisto com antecedência, resolvendo possíveis erros e tornando viável e seguro todo o processo, além de poder ser operado com muita praticidade e funcionalidade.

## **2 OBJETIVO**

Esse trabalho tem a proposta de criar uma ferramenta computacional para auxiliar nos cálculos de combinações de ações, buscando mais praticidade, agilidade e maiores chances de acertos, para estudantes e engenheiros, tornando os resultados mais confiáveis e o processo mais prático.

O desenvolvimento da ferramenta tem o objetivo de fazer com que seja de fácil compreensão, serão fixadas todas as informações padrão para facilitar ainda mais os usuários, que são engenheiros civis e estudantes de engenharia civil.

No final a ferramenta mostrará todas as combinações realizadas em formato de memorial de cálculo, com o intuito de facilitar e minimizar os erros humanos gerados na hora da resolução, pois compreende-se que geralmente são muito trabalhosos.

A ferramenta conta com métodos de operação simples, de fácil compreensão e configuração; para pessoas que tem ou não facilidade com mecanismos tecnológicos, a fim de tornar viável sua interação no meio da engenharia civil.

### **3 METODOLOGIA**

Decidimos em conversa com nosso orientador desenvolver uma ferramenta computacional baseado em uma norma.

Fizemos a pesquisa de algumas normas, chegando à conclusão de que a NBR 6118 era a mais propícia para basearmos a nossa pesquisa.

Com a norma em mãos, procuramos entender detalhadamente cada tipo de ação, como ela age na estrutura, o efeito das ações combinadas e estruturamos o algoritmo para realização do cálculo.

A norma informa para cada situação as combinações e seus respectivos fatores de majoração e/ou fatores de combinação ou redução.

Logo que terminamos nossa análise, iniciamos a especificação e desenvolvimento da ferramenta computacional. Com isso, fizemos a ferramenta, buscando ter uma boa didática, apresentando opções de escolha para facilitar o cadastro das ações. Após análise e validação dos dados, executamos o algoritmo e apresentamos o resultado como um memorial de cálculo com todas as opções para a situação informada.

#### **4 JUSTIFICATIVA**

Muitos estudantes de engenharia civil e até mesmo engenheiros civis, tem muito trabalho e muitas vezes cometem erros no momento dos cálculos de combinações de ações, já que exige muita atenção para criar as diversas possibilidades de combinações e de coletar os fatores exigidos pela normatização. Atualmente em toda edificação deve ser considerada a atuação do vento, tornando as combinações imprescindíveis.

Fazer um estudo sobre as ações existente em uma estrutura, a fim de compreender quais são as combinações recomendadas por norma e os fatores dessas combinações, entendendo quais combinações são necessárias para cada tipo de estrutura, é uma das coisas mais importantes na etapa de elaboração de um projeto. Uma ferramenta que auxilia nos cálculos normalmente diminui as chances de erro, tornando-se muito útil, deixando simples o que antes era muito trabalhoso.

A ferramenta computacional conta com um modo simples e fácil de desenvolver uma tarefa que antes tomava muito tempo e exigia muito trabalho na hora de fazer todas as combinações, fazendo qualquer pessoa que antes tinha dificuldade, desenvolver trabalhos de modo simples, tornando confiável e seguro todo o processo.

## 5 ESTADOS LIMITES

Os estados limites em uma estrutura, são critérios que a considera imprópria para o uso, por razões de segurança, estética, desempenho, funcionalidades fora do padrão especificados para sua utilização; em outras palavras é o estado que a estrutura deixa de atender os requisitos para um funcionamento de forma plena e adequada. Eles são fundamentados em métodos semi-probabilísticos, para desenvolver as combinações de ações, sendo usado o método semi-probabilístico nos cálculos pela norma, que utiliza dados empíricos nos cálculos, majora as ações e esforços, diminui os valores de resistências, equaciona a situação de ruína tornando o esforço solicitante de cálculo igual a resistência, podem ser dividido em estado limite último e estado limite de serviço, e definem alguns parâmetros para a segurança das construções. Historicamente os métodos clássicos baseavam-se no conceito do fator de segurança e os métodos probabilísticos e semi-probabilísticos representaram um avanço tecnológico no conceito de segurança e desempenho.

### 5.1 ESTADOS-LIMITES ÚLTIMOS (ELU)

A segurança das estruturas de concreto deve sempre ser verificada de acordo com o que está prescrito na norma de regulamentação (NBR 6118:2014 - Projetos de Estruturas de Concreto - Procedimento) e será tomada como referência para esse trabalho, sempre observar os seguintes estados-limites últimos para que uma estrutura possa estar dentro dos padrões exigidos na norma, respeitando sempre o que ela exige.

Figura 1 – Verificações para o Estado Limite Últimos

- a) estado-limite último da perda do equilíbrio da estrutura, admitida como corpo rígido;
- b) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, devido às solicitações normais e tangenciais, admitindo-se a redistribuição de esforços internos, desde que seja respeitada a capacidade de adaptação plástica definida na Seção 14, e admitindo-se, em geral, as verificações separadas das solicitações normais e tangenciais; todavia, quando a interação entre elas for importante, ela estará explicitamente indicada nesta Norma;
- c) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando os efeitos de segunda ordem;
- d) estado-limite último provocado por solicitações dinâmicas (ver Seção 23);
- e) estado-limite último de colapso progressivo;
- f) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, no seu todo ou em parte, considerando exposição ao fogo, conforme a ABNT NBR 15200;
- g) estado-limite último de esgotamento da capacidade resistente da estrutura, considerando ações sísmicas, de acordo com a ABNT NBR 15421;
- h) outros estados-limites últimos que eventualmente possam ocorrer em casos especiais.

## 5.2 ESTADOS-LIMITES DE SERVIÇO (ELS)

Estados-limites de serviço relaciona a utilização da estrutura de maneira que ela proporcione conforto, seja durável e sua aparência passe a sensação de bem estar para quem a esteja utilizando, suportando não só as ações causadas pelo uso quanto relacionado as máquinas que possam estar sobre ela.

As estruturas de concreto para estarem seguras pode serem sujeitas a testes relacionado a alguns estados-limites de serviço segundo métodos de específicos e confiáveis (NBR 6118). Em construções especiais pode ser necessário verificar o atendimento em relação a outros estados limites de serviço.

Um exemplo de desconforto no estado limite de serviço, é o excesso de deformação em vigas, que a olho nu pode gerar uma impressão de insegurança, porém que não passa de uma patologia causada por deficiência na execução ou dimensionamento inadequado, mas que mesmo não estando dentro do padrão de serviço pode não proporcionar risco à segurança.

Outra patologia em vigas muito observado são as vibrações excessiva, como por exemplo em estádios de futebol, que quando lotados e a torcida começa a se movimentar ao mesmo tempo, causa a impressão de insegurança, pois balança muito e muitas vezes nota-se um comportamento elástico nas vigas, causando muito mal-estar a quem presencia, mas sem qualquer perigo a quem utiliza.

## 6 AÇÕES

Ações são causas que provocam algum tipo de esforço ou deformação nas estruturas, e causa influência sobre um corpo capaz de produzir um estado de tensão ou modificar um estado já existente, podem ser isoladas ou em outras situações, podem ser em conjunto com outras que geram algumas combinações que devem ser estudadas e compreendida para um correto processo construtivo.

### 6.1 AÇÕES PERMANENTES

Para as ações permanentes, deve se levar em conta que será uma carga presente em todo o tempo de vida útil da estrutura e os valores característicos devem ser adotados iguais aos valores médios das respectivas distribuições de probabilidade, sejam valores característicos superiores ou inferiores.

Tabela 1 – Definições das Ações Permanentes

TIPO	AÇÃO		DEFINIÇÕES
<b>Diretas</b>	Peso próprio		Massa específica do concreto juntamente com a massa das armaduras e demais elementos estruturais e de fechamentos.
	Peso dos elementos construtivos fixos e de instalações permanentes		São considerados com seus valores nominais de massa específica e engloba todos os elementos que compõe a estrutura como portas, janelas, pisos etc.
	Empuxos permanentes		Esforços de terra e outros materiais granulosos em contato direto com a estrutura.
<b>Indiretas</b>	Retração do concreto		Impostas pela armadura em casos de deformação específica em obras de concreto armado.
	Fluência do concreto		Quando submetida a carregamento o concreto pode estar sujeito a imperfeições causadas por ele.
	Deslocamentos de apoio		Considera-se quando gerados esforços significativos em relação ao conjunto das outras ações.
	Imperfeições geométricas	Imperfeições globais	Considera-se quando há um desaprumo nas estruturas.
		Imperfeições locais	Tração recorrente do desaprumo de pilares contra ventados a pilares de contraventamento
		Momento mínimo	Efeito das imperfeições locais nos pilares e pilares-parede.
	Protensão		Deve ser considerada em todas as estruturas protendidas, considerando a força inicial e as perdas de protensão.

Fonte: Autores

## 6.2 AÇÕES VARIÁVEIS

O vento e a água correspondem a cargas acidentais na estrutura e se encaixam como cargas variáveis, pois estão presentes esporadicamente na estrutura e devem respeitar as prescrições feitas pelas normas brasileiras específicas, as ações variáveis tem valores específicos por consenso indicado por norma e correspondem a valores que vão de 25% a 35% de probabilidade de serem ultrapassados durante um período de 50 anos no sentido desfavorável, o que corresponde que o valor característico com período de retorno médio é de 174 anos a 117 anos respectivamente.

Tabela 2 – Definições das Ações Variáveis

TIPO	AÇÃO	DETALHES
<b>Diretas</b>	Cargas acidentais previstas para o uso da construção	Cargas laterais, verticais, de frenação ou aceleração, força centrífuga, sempre considerando a posição mais desfavorável.
	Ação do vento	Deve ser analisado a partir de critérios que possam contribuir desfavoravelmente para a estrutura como a localização, a altitude e velocidade, e possíveis danos desfavoráveis causados por esses fatores.
	Ação da água	Deve ser analisado quanto ao valor que a carga de reservatórios, caixas de água, tanques etc. Terão nas estruturas e onde possa haver acúmulo de água provenientes de chuvas, deve ser considerado o valor da lâmina de água ali acumulada.
	Ações variáveis durante a construção	Peso próprios de itens que vão ser usado na construção, mas que ainda não podem ser incluídas na fase final da construção como andaimes, ferramentas, geradores etc.
<b>Indiretas</b>	Variações uniformes de temperatura	Deve ser considerado o clima regional onde a estruturas será e se seus elementos estruturais podem sofrer alterações pela variação da temperatura de acordo com suas dimensões.
	Variações não uniformes de temperatura	Quando a temperatura não seja distribuída significativamente igual em toda a estrutura alguns elementos podem sofrer variações de tamanho e outros não.
	Ações dinâmicas	Quando a estrutura seja sujeita a choques ou vibrações causados por choques de veículos, caminhões ou sujeita a ações de terremotos ou condições meteorológicas que de alguma forma possa causar danos desfavoráveis.

Fonte: Autores



## 7 COMBINAÇÕES DE AÇÕES

No estado limite ultimo temos alguns fatores que tem de ser levado em conta na hora de fazer o estudo das ações nas estruturas, e chegar a um resultado que envolve além de fatores de redução e minoração, combinações de serviços que levarão em conta o tempo que cada tipo de ação fica na estrutura; assim chegaremos a combinações adequadas para cada situação.

Nos esforços solicitantes os cálculos devem ser multiplicados pelos coeficientes de majoração quando for utilizada em combinações, segundo alguns critérios para cada tipo de cálculo, onde será estabelecido qual ação estabelece maior esforço negativo ou positivo seguindo de um termo específico de majoração.

Para facilitar a visualização e entender melhor cada combinação de ação no ELU disponibilizaremos uma tabela para cada tipo de ações:

Figura 2 – Coeficiente de Combinação ( $\psi_0$ ) e Redução ( $\psi_1$  e  $\psi_2$ )

Ações		$\gamma_{f2}$		
		$\psi_0$	$\psi_1^a$	$\psi_2$
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas <sup>b</sup>	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevada concentração de pessoas <sup>c</sup>	0,7	0,6	0,4
	Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

Fonte: NBR 6118:2014 - Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimento (página 65)

### 7.1 COMBINAÇÕES DO ESTADO LIMITE ÚLTIMO

Os valores para verificação de resistência no estado-limite último para a execução de elementos estruturais nos quais estejam previstas condições desfavoráveis, o coeficiente deve ser multiplicado pelo valor referido para cada ação existente, para que se possa ter valores que represente maior segurança para a estrutura, escolhendo sempre um valor normatizado, podendo este ser favorável ou desfavorável para cada ação:

Figura 3 – Coeficientes de Ponderação

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	D	F	G	T	D	F	D	F
<b>Normais</b>	1,4 <sup>a</sup>	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
<b>Especiais ou de construção</b>	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
<b>Excepcionais</b>	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0
onde D é desfavorável, F é favorável, G representa as cargas variáveis em geral e T é a temperatura. <sup>a</sup> Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.								

Fonte: NBR 6118:2014 - Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimento (página 65)

Assim com o seu respectivo valor de majoração, as cargas são introduzidas nas combinações e os cálculos são feitos com as cargas com as devidas correções e seguindo a ordem de frequência que cada uma representa na estrutura, podendo ser considerada como principal em algumas combinações e em outras como secundária levando consigo um coeficiente de redução.

Figura 4 – Combinações Últimas

Combinações últimas (ELU)	Descrição	Cálculo das solicitações
<b>Normais</b>	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto armado <sup>a</sup>	$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{eq} F_{eqk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{eq} \psi_{0e} F_{eqk}$
	Esgotamento da capacidade resistente para elementos estruturais de concreto protendido	Deve ser considerada, quando necessário, a força de protensão como carregamento externo com os valores $P_{k\max}$ e $P_{k\min}$ para a força desfavorável e favorável, respectivamente, conforme definido na Seção 9
	Perda do equilíbrio como corpo rígido	$S(F_{sd}) \geq S(F_{nd})$ $F_{sd} = \gamma_{gs} G_{sk} + R_d$ $F_{nd} = \gamma_{gn} G_{nk} + \gamma_q Q_{nk} - \gamma_{qs} Q_{s,\min}$ , onde: $Q_{nk} = Q_{1k} + \sum \psi_{0j} Q_{jk}$
<b>Especiais ou de construção <sup>b</sup></b>		$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{eq} F_{eqk} + \gamma_q (F_{q1k} + \sum \psi_{0j} F_{qjk}) + \gamma_{eq} \psi_{0e} F_{eqk}$
<b>Excepcionais <sup>b</sup></b>		$F_d = \gamma_g F_{gk} + \gamma_{eq} F_{eqk} + F_{q1exc} + \gamma_q \sum \psi_{0j} F_{qjk} + \gamma_{eq} \psi_{0e} F_{eqk}$

Fonte: NBR 6118:2014 - Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimento (página 65)

Com base nas combinações disponíveis na norma, chegamos a algumas opções de combinações no estado limite último classificadas em:

### 7.1.1 Combinações Normais

A força de proteção com os valores  $P_k$  máximo e  $P_k$  mínimo tanto quando forem favoráveis como desfavoráveis, devem ser considerados quando for calculado a combinação normal de esgotamento da capacidade de resistência.

Cada cálculo de combinação deve sempre estar presente as ações permanentes e a ação variável principal, cada uma com seus valores característicos e as outras ações variáveis, que nesse caso são secundárias, com seus valores reduzidos pelo fator correspondente, como mostra a seguir:

$$F_d = \gamma_g \times F_{gk} + \gamma_{eg} \times F_{egk} + \gamma_q \times \left( F_{q1k} + \sum \psi_{0j} \times F_{qjk} \right) + \gamma_{eq} \times \psi_{0\varepsilon} \times F_{eqk}$$

- $F_d$ : Valor de cálculo das ações;
- $\gamma_g$ : Coeficiente de ponderação permanente;
- $F_{gk}$ : Ações permanentes;
- $F_{q1exc}$ : Ações variáveis diretas;
- $\psi_{0j}$ : Coeficiente de redução;
- $\gamma_{eq}$ : Coeficiente de ponderação variável.

### 7.1.2 Combinações Especiais ou de Construções

Para o cálculo dessa combinação será necessário estar presentes as ações permanentes e a ação variável especial, se existir, com seus valores característicos e as ações variáveis existentes não desprezível de ocorrência simultânea, com seus valores acompanhados por o fator correspondente, conforme:

$$F_d = \gamma_g \times F_{gk} + \gamma_{eg} \times F_{egk} + \gamma_q \times \left( F_{q1k} + \sum \psi_{0j} \times F_{qjk} \right) + \gamma_{eq} \times \psi_{0\varepsilon} \times F_{eqk}$$

- $F_d$ : Valor de cálculo das ações;
- $\gamma_g$ : Coeficiente de ponderação permanente;
- $F_{gk}$ : Ações permanentes;
- $F_{q1k}$ : Ações variáveis diretas;
- $\psi_{0j}$ : Coeficiente de redução;
- $\gamma_{eq}$ : Coeficiente de ponderação variável.

### 7.1.3 Combinações Excepcionais

Para a combinação excepcional deverá ter uma ação permanente e a ação variável excepcional, se houver, com os valores representativos e as outras ações variáveis existentes,

devem ser consideradas com probabilidade de ocorrer simultaneamente seguido de seus coeficientes correspondente. Nesse caso enquadra-se sismos e incêndios podemos analisar a seguir como mostra a tabela:

$$F_d = \gamma_g \times F_{gk} + \gamma_{\varepsilon g} \times F_{\varepsilon gk} + F_{q1exc} + \gamma_g \times \sum \psi_{0j} \times F_{qjk} + \gamma_{\varepsilon q} \times \psi_{0\varepsilon} \times F_{\varepsilon qk}$$

- $F_d$ : Valor de cálculo das ações;
- $\gamma_g$ : Coeficiente de ponderação permanente;
- $F_{gk}$ : Ações permanentes;
- $F_{q1exc}$ : Ações variáveis diretas;
- $\psi_{0j}$ : Coeficiente de redução;
- $\gamma_{\varepsilon q}$ : Coeficiente de ponderação variável.

## 7.2 COMBINAÇÕES DO ESTADO LIMITE SERVIÇO

São classificadas de acordo com sua permanência na estrutura e tipo de concreto estrutural, devem ser verificadas como estabelecido a seguir:

Figura 5 – Combinações de Serviço

Combinações de serviço (ELS)	Descrição	Cálculo das solicitações
<b>Combinações quase permanentes de serviço (CQP)</b>	Nas combinações quase permanentes de serviço, todas as ações variáveis são consideradas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gi,k} + \Sigma \psi_2 F_{qj,k}$
<b>Combinações frequentes de serviço (CF)</b>	Nas combinações frequentes de serviço, a ação variável principal $F_{q1}$ é tomada com seu valor frequente $\psi_1 F_{q1k}$ e todas as demais ações variáveis são tomadas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gik} + \psi_1 F_{q1k} + \Sigma \psi_2 F_{qjk}$
<b>Combinações raras de serviço (CR)</b>	Nas combinações raras de serviço, a ação variável principal $F_{q1}$ é tomada com seu valor característico $F_{q1k}$ e todas as demais ações são tomadas com seus valores frequentes $\psi_1 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \Sigma F_{gik} + F_{q1k} + \Sigma \psi_1 F_{qjk}$

Fonte: NBR 6118:2014 - Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimento (página 69)

Figura 6 – Tipo de Concreto Estrutural por Combinações de Serviços (ELS)

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA) e tipo de protensão	Exigências relativas à fissuração	Combinação de ações em serviço a utilizar
Concreto simples	CAA I a CAA IV	Não há	–
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação frequente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	
Concreto protendido nível 1 (protensão parcial)	Pré-tração com CAA I ou Pós-tração com CAA I e II	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	Combinação frequente
Concreto protendido nível 2 (protensão limitada)	Pré-tração com CAA II ou Pós-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação frequente
		ELS-D <sup>a</sup>	Combinação quase permanente
Concreto protendido nível 3 (protensão completa)	Pré-tração com CAA III e IV	Verificar as duas condições abaixo	
		ELS-F	Combinação rara
		ELS-D <sup>a</sup>	Combinação frequente

Fonte: NBR 6118:2014 - Projetos de Estruturas de Concreto – Procedimento (página 80)

### 7.2.1 Combinações Quase Permanentes de Serviço

As combinações quase permanentes de serviço estão presentes em quase toda vida útil da estrutura e para o estado limite de deformação excessiva tem que ser considerada:

$$Fd = \sum F_{gi,k} + \sum \psi_2 \times F_{qj,k}$$

- $F_{gi,k}$ : Ações permanentes direta;
- $\psi_2$ : Fator de redução;
- $F_{qj,k}$ : Ações variáveis.

### 7.2.2 Combinações Frequentes de Serviço

As combinações frequentes de serviço aparecem várias vezes na vida útil da estrutura e pode ser considerada na verificação dos estados limites de formação e abertura de fissuras e vibração excessiva, podem ser considerada também para deformação excessiva decorrente de temperatura e vento que podem prejudicar as vedações e sua combinação pode ser observado a seguir:

$$Fd = \sum F_{gik} + \psi_1 \times F_{q1k} + \sum \psi_2 \times F_{qj,k}$$

- $F_{gik}$ : Ações permanentes direta;
- $\psi_2$ : Fator de redução;
- $\psi_1$ : Fator de redução;
- $F_{q1k}$ : Ações variáveis.

### 7.2.3 Combinações Raras de Serviço

As combinações raras ocorrem quase nunca em uma estrutura, mais sua combinação deve ser considerada para o estado limite de formação de fissuras como mostra a seguir.

$$Fd = \sum F_{gi,k} + F_{q1k} + \sum \psi 1_j \times F_{qj,k}$$

- $F_{gi,k}$ : Ações permanentes direta;
- $\psi 1$ : Fator de redução;
- $F_{qj,k}$ : Ações variáveis.

## 8 RECUSOS DO DESENVOLVIMENTO

### 8.1 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO - C#

Em 1990 a Microsoft se deparou com várias linguagens para resolver problemas diversos e toda vez que um programa precisava migrar era necessário aprender a nova linguagem, entendendo suas bibliotecas (Códigos prontos para resolução de processos complicados) e conceitos.

Nesse ano eles recorreram a linguagem Java, inclusive assinou um acordo de licenciamento com a Sun para utilizar o Java em ambiente Windows, porém ela não comunicava muito bem com o código nativo (código de máquina), com isso a Microsoft criou sua própria implementação no Java chamada J++ para resolver este problema.

O J++ só rodava em ambiente Microsoft e isso violava o licenciamento feito com a Sun, criando uma batalha judicial. Sem o J++ a Microsoft foi obrigada a repensar em como lidar com diferentes linguagens e tecnologias. A empresa começou a trabalhar em uma plataforma para ser a base de todas as soluções (que depois foi chamada de .Net), que conseguisse trabalhar com diversas linguagens usando as mesmas bibliotecas, assim quando fosse migrar só era preciso aprender a linguagem pois as bibliotecas eram as mesmas.

A Microsoft também precisava de uma linguagem, então começou o projeto COOL (C-like Object Oriented Language) com base nas linguagens de mercado o como: Java, C, C++, Smalltalk, Delphi e VB. A intenção era criar uma linguagem com soluções a problemas existentes em outra linguagens.

Em 2000 foi lançado o C# 1.0 (atualmente C# 7.3), tendo evoluído com expressiva velocidade, com novidade que se diferencia bastante da linguagem Java e outras concorrentes. Como algumas linguagens o C# roda em uma máquina virtual. O código é compilado para o código da máquina, transformando o código executável em binário, porém cada sistema operacional necessita de uma reescritura diferente, por isso é utilizado a máquina virtual pois ele “traduz” para cada sistema operacional.

A escolha dessa linguagem foi pelo fato de ser atualmente gratuita, ter suporte das maiores empresas de tecnologia mundiais, com algumas implementações ser possível rodar em diversos sistemas operacional e a facilidade do desenvolvimento de bibliotecas, possibilitando até o desenvolvimento de componentes para ser utilizado em outros sistemas como por exemplo o sistemas BIM. Alguns autores relatam que uma desvantagem do C# é pelo fato de rodar em

uma máquina virtual, pois torna o processamento mais lento, porém é isso que dá a versatilidade da linguagem.

## 8.2 PROGRAMAÇÃO ORIENTADA À OBJETO (POO)

Para poder programar é necessário organizar os dados de forma estruturada, a fim de identificar como cada elemento se comporta, isto é feito por meio das classes, elas são objetos e possuem: parâmetros e métodos. Os parâmetros podem ser textos, números, booleano (verdadeiro ou falso), outra classe, entre outros tipos. Os métodos são constituídos por blocos de código que executam processos padrões, geralmente manipulando objeto e podem dar ou não um retorno. Todas as nomenclaturas de classes, objetos e métodos não apresentam: espaçamentos, acentuações e caracteres especiais; logo nos exemplos aqui apresentados esses caracteres não estarão presentes.

MACORATTI (O que significa Orientação a objetos?) descreve “O termo orientação a objetos significa organizar o mundo real como uma coleção de objetos que incorporam estrutura de dados e um conjunto de operações que manipulam estes dados.”

Existes alguns conceitos na Programação Orientada a Objeto POO, são: herança, encapsulamento e polimorfismo.

Herança acontece quando uma ou mais classes herdaram os parâmetros e métodos de outra classe, assim pode-se colocar elementos comum de um grupo de classe em uma classe principal e essa ser herdada pela demais, também conhecida como superclasse.

Encapsulamento é quando os objetos e os processos dos métodos de uma classe são ocultos, logo quando um terceiro usar esse tipo de classe, não sabe seus parâmetros e o processo que o método executa, exemplo: uma classe “Circulo” pode ter um objeto “raio”, mas em alguns casos será informado o diâmetro, não tem a necessidade de criar mais um objeto chamado “diâmetro”, em vez disso cria-se um método chamado “setdiâmetro” e internamente divide o diâmetro por dois assim salvando o resultado no raio. O problema de ter dois objetos um chamado “raio” e o outro “diâmetro” é que nem sempre será informado os dois, assim algumas contas usar o “raio” enquanto outras usa o “diâmetro”, com isso é mais simples ter somente um objeto e fazer a conversão na hora de guarda e de usar.

Polimorfismo ocorre em superclasses, quando um mesmo método pode ser executado de maneiras diferentes, exemplo: a superclasse “Figura” é herdada pelas classes “Retangulo” e “Circulo”, a superclasse tem o método chamado “CalcularArea”, porém quando for usado na



classe “Retangulo” tem que ser feito a conta: comprimento multiplicado pela largura; e quando for usado na classe “Circulo” tem que ser feito a conta: “pi” multiplicado pelo raio ao quadrado.

Exemplo de uma estrutura de classes com os elementos mencionados acima:

- Superclasse: Figura
  - Parâmetros:
    - descricao
  - Método:
    - CalcularArea
- Classe: Retangulo
  - Parâmetros:
    - descricao (herdado da superclasse)
    - comprimento
    - largura
  - Método herdado da superclasse, mas com processo diferente:
    - CalcularArea (comprimento multiplicado pela largura)
- Classe: Circulo
  - Parâmetros:
    - descricao (herdado da superclasse)
    - raio
  - Método:
    - setdiametro (diametro dividido por dois)
  - Método herdado da superclasse, mas com processo diferente:
    - CalcularArea (“pi” multiplicado pelo raio ao quadrado)

### 8.3 VISUAL STUDIO 2019 – IDE

O Visual Studio 2019 é um Ambiente Integrado de Desenvolvimento (IDE), logo ele é um editor de arquivos com recursos para ajudar no desenvolvimento, foi desenvolvido pela Microsoft, mesma empresa responsável pela linguagem C#, com isso tem diversos recursos compatíveis com a linguagem. A ferramenta foi desenvolvida em uma versão gratuito o “Visual Studio Community”.

O Visual Studio 2019 ajuda na programação mais rápida e eficiente com recursos como: sugestão de código, inspeção de bugs (erros de desenvolvimento), análise do código em tempo de execução, entre muitos outros. Ele também possibilita a integração com o GitHub, um sistema que gerencia projetos e ajuda no versionamento (mesclar o trabalho de diversos desenvolvedores), além de criar uma versão na nuvem, assim tendo uma versão do software em um ambiente seguro.

## 9 FERRAMENTA COMPUTACIONAL

Ao desenvolver a ferramenta computacional, foi pensada para ter uma boa usabilidade, para que qualquer pessoa, mesmo com pouco conhecimento em utilizar computador conseguisse trabalhar nela. Com isso foi utilizado o padrão do sistema operacional Windows e alguns botões com imagem para ser mais fácil de usar.

Para as pessoas que sabe mexer em computador, é possível acessar a maioria dos comandos através de “atalhos” ao clicar em teclas específicas no teclado, os atalhos podem ser encontrados na ferramenta.

Outro recurso é a criação de um importador em formato CSV (ponto e vírgula), para a ferramenta entender o arquivo de importação foi criado siglas, geralmente elas estarão entre parenteses e servem para informar cada determinado item, que será apresentado no Capítulo 8.2 ARQUIVO DE IMPORTAÇÃO. Para auxiliar em futuros ajustes é possível salvar os dados e importar futuramente.

Um item de ajuda foi criado onde pode encontrar todas as informações sobre a ferramenta, além de como utilizá-la e como criar o arquivo de importação. Para baixar e utilizar a ferramenta acesse: <https://github.com/AirtonJunior/StructureActions>.

### 9.1 TELA E JANELAS

Ao iniciar a ferramenta ela exibe o Splash Screen, nessa tela é exibido: nome da ferramenta, subtítulo do TCC, nome dos integrantes, nome do orientador e logo da Uninove.

Figura 7 – Splash Screen

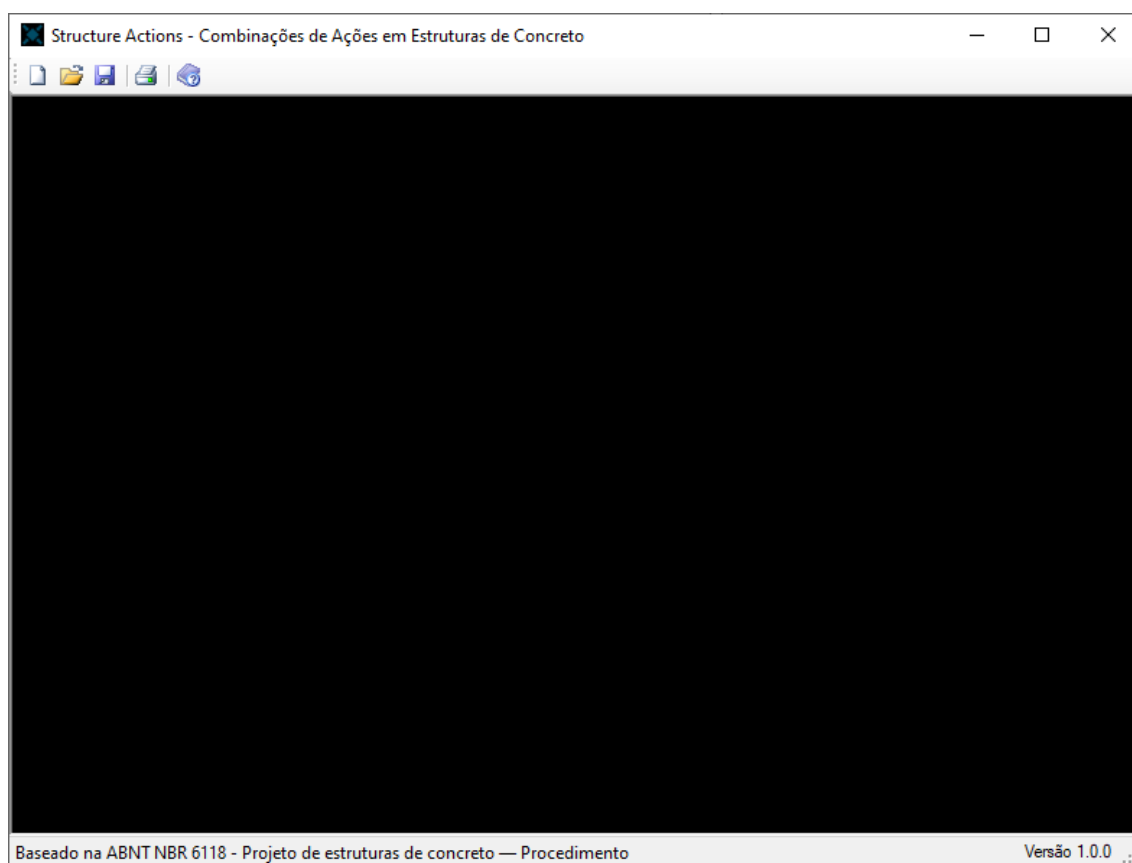


Fonte: Autores

Depois do Splash Screen é aberto a Home (tela principal), toda a ferramenta funciona dentro dessa tela e é onde tem os principais botões como: criar um novo projeto, importar dados, salvar os dados, imprimir o resultado, organizar as janelas (telas internas), ajuda, entre outros.

É possível criar um projeto do zero ou importar os dados com o arquivo CSV que será explicado na próxima seção. Quando for salvar os dados é necessário estar com um projeto aberto, no caso de imprimir o resultado tem que estar com a página do resultado aberta.

Figura 8 – Tela Home



Fonte: Autores

Ao clicar em importar (Abrir) ou apertar em Ctrl+O é aberta uma janela para a seleção de um arquivo CSV, após selecionado a ferramenta abre a janela de “Criar Novo” (essa janela é do tipo diagnostico que bloqueia o restante da ferramenta até que ela seja fechada pelo botão “X” que cancela a operação ou pelo botão “AVANÇAR” para concluir a operação), o nome do arquivo é colocado no título da janela, nessa tela tem que ser selecionado o “Tipo de Concreto Estrutural” e “Combinações de Ações (ELU)”, em seguida clicar no botão “AVANÇAR”. Com isso a ferramenta faz uma validação de todos os dados para identificar possíveis inconsistências de dados, caso encontre é aberto uma janela informada o que está errado e finaliza o processo de importação.

Quando importado um arquivo sem erro a ferramenta abre a janela com a lista de ações que será explicada mais a diante. É possível evitar a janela “Criar Novo” inserindo a sigla do “Tipo de Concreto Estrutural” e “Combinações de Ações (ELU)” no nome do arquivo da seguinte forma:

<nomedeidentificacao>\_<SiglaTipodeConcretoEstrutural>\_<SiglaCombinacaodeAcaoELU>.csv

Para o caso do “Tipo de Concreto Estrutural” de “Concreto Armado (CA)” e “Combinações de Ações (ELU)” “Normais (NO)” o nome do arquivo ficará algo como: “edificio\_CA\_NO.csv”.

Figura 9 – Janela Criar Novo

Fonte: Autores

Algo parecido ocorre ao clicar em novo ou apertar em Ctrl+N na tela de Home, porém não abre uma janela de seleção de arquivos, o título permanece com o texto “Criar Novo” e não é feita nenhuma validação, pois não tem dados para ser avaliados.

O “Tipo de Concreto Estrutural” serve para definir quais as combinações do ELS serão calculadas, conforme a norma. Para as “Combinações de Ações (ELU)” além de saber qual a combinação a ser utilizada também serve para definir os coeficientes de ponderação. Opções:

- Tipo de Concreto Estrutural:
  - Concreto Simples (CS);
  - Concreto Armado (CA);
  - Concreto Protendido Nível 1 (Protensão Parcial - PP);
  - Concreto Protendido Nível 2 (Protensão Limitada - PL);
  - Concreto Protendido Nível 3 (Protensão Completa - PC).
- Combinações de Ações (ELU):
  - Normais (NO);

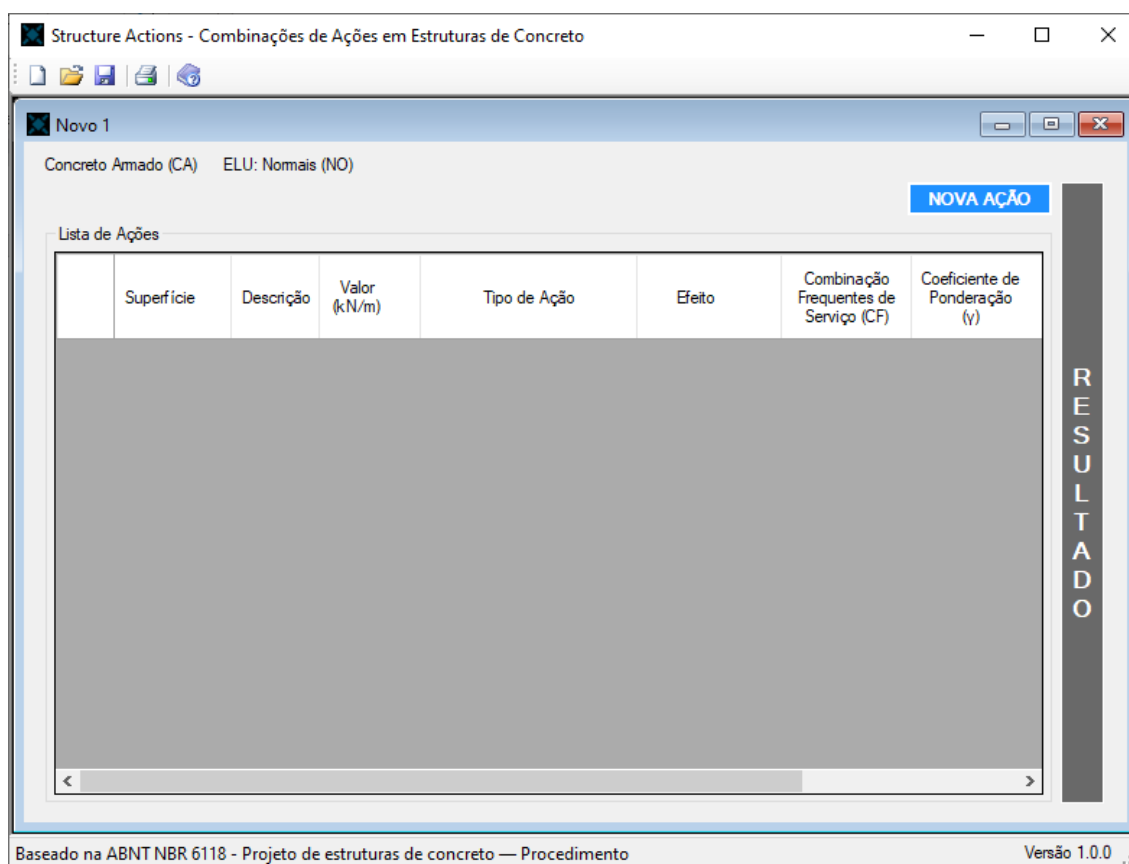
- Especiais ou de Construção (EC);
- Excepcionais (EX).

Após a configuração das informações iniciais é aberto a janela de lista de ações, nessa janela é informado as configurações anteriores, um botão chamado “NOVA AÇÃO” para criar uma ação, uma tabela para mostrar as ações inseridas e um botão chamado “RESULTADO”.

Na tabela é mostrado os campos fixos: Superfície, Descrição, Valor, Tipo de Ação, Efeito, Coeficiente de Ponderação ( $\gamma$ ), Fator de Combinação ( $\psi_0$ ), Fator de Redução ( $\psi_1$ ) e Fator de Redução ( $\psi_2$ ). Também existe os campos variáveis que só mostra de acordo com o “Tipo de Concreto Estrutural” que são: Combinação Quase Permanentes de Serviço (CQP), Combinação Frequentes de Serviço (CF) e Combinação Raras de Serviço (CR).

Ao clicar na tabela em uma linha de uma ação existente abre a janela de inserção de ação, que será detalhada a seguir, as mudanças nessa janela é que no lugar do botão “SALVAR” tem um botão “ALTERAR” e um botão “DELETAR” é mostrado para fazer a exclusão da ação.

Figura 10 – Janela de Lista de Ações



Fonte: Autores

Quando clica no botão “NOVA AÇÃO” é aberto uma janela do tipo diagnostico, com todas as informações que são necessárias para o cálculo e para separar os dados por superfície (elemento construtivo). Para um melhor entendimento a seguir a importância de cada dado:

- Descrição: A descrição serve para a identificação das ações, em uma mesma superfície não pode existir descrições iguais, o valor informado deve ser alfanumérico de no mínimo 5 (cinco) caracteres;
- Valor: É o valor numérico do esforço que a ação transmite para a superfície em kN/m;
- Tipo de Ação: Deve ser checado umas das opções de acordo com a ação que está sendo configurada, esse valor é utilizado juntamente com outros dados para definir o valor do coeficiente de ponderação ( $\gamma$ ), as opções são as seguintes:
  - Permanentes:
    - Gerais (PG);
    - Pretensão (PP);
    - Recalques de apoio e retração (PR).
  - Variáveis:
    - Gerais (VG);
    - Temperatura (VT).
  - Excepcional:
    - Excepcional (EX).
- Efeito: Informado se a ação permanente é “Desfavorável (D)” ou “Favorável (F)”, é utilizado para identificar o fator de ponderação;
- Superfície: Tem duas opções, primeiro criar uma superfície nova ou selecionar uma superfície já existente, todas as contas são feitas por superfície, o dado informado deve ser um valor alfanumérico de no mínimo 5 caracteres.
- Combinações de Ações – ELU: Nessa parte tem que ser informada as combinações do Estado Limite de Serviço que a ação faz parte, é exibido as combinações que faz parte do “Tipo de Concreto Estrutural” de acordo com a norma; A janela do modelo para as ações permanente pode ser visualizada na figura a seguir:

Figura 11 – Janela de Adição e Edição das Ações

A janela 'Nova Ação' apresenta os seguintes campos e opções:

- Dados:**
  - Descrição: Campo de texto.
  - Valor: Campo de texto com unidade kN/m.
  - Tipo: Menu suspenso com a opção 'Permanente Geral (PG)' selecionada.
  - Efeito: Menu suspenso com a opção 'Desfavorável (D)' selecionada.
- Superfície:** Campo de texto rotulado 'Nova Superfície'.
- Combinações de Serviço - ELS:**
  - Checkbox 'Frequentes (CF)' selecionado.

Botões: CANCELAR (laranja) e INSERIR (azul).

Fonte: Autores

As ações variáveis necessitam de mais informações, o fator de combinação e os fatores de redução, porém não necessita do efeito, com isso a janela abre mais uma opção onde deve informar a partir de uma tabela a categoria que a ação variável faz parte. Para as ações variáveis gerais tem as três opções de carga accidental e a opção do vento, quando é uma ação variável de temperatura só exibe a opção de temperatura. Conforme a figura a seguir que mostra a opção variável geral selecionada.

Figura 12 – Janela de Configuração das Ações – Ações Variáveis

A janela 'Nova Ação' apresenta os seguintes campos e opções:

- Dados:**
  - Descrição: Campo de texto.
  - Valor: Campo de texto com unidade kN/m.
  - Tipo: Menu suspenso com a opção 'Variável Geral (VG)' selecionada.
- Superfície:** Campo de texto rotulado 'Nova Superfície'.
- Combinações de Serviço - ELS:**
  - Checkbox 'Frequentes (CF)' selecionado.

**Fator de Combinação e Fatores de Redução**

	Sigla	Descrição	Fator de Combinação ( $\psi_0$ )	Fator de Redução ( $\psi_1$ )	Fator de Redução ( $\psi_2$ )
▶	a1	Cargas accidentais de edifícios: Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas (Edificações residenciais, de acesso restrito)	0,5	0,4	0,3
	a2	Cargas accidentais de edifícios: Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas (Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público)	0,7	0,6	0,4
	a3	Cargas accidentais de edifícios: Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
	v	Vento: Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0

Botões: CANCELAR (laranja) e INSERIR (azul).

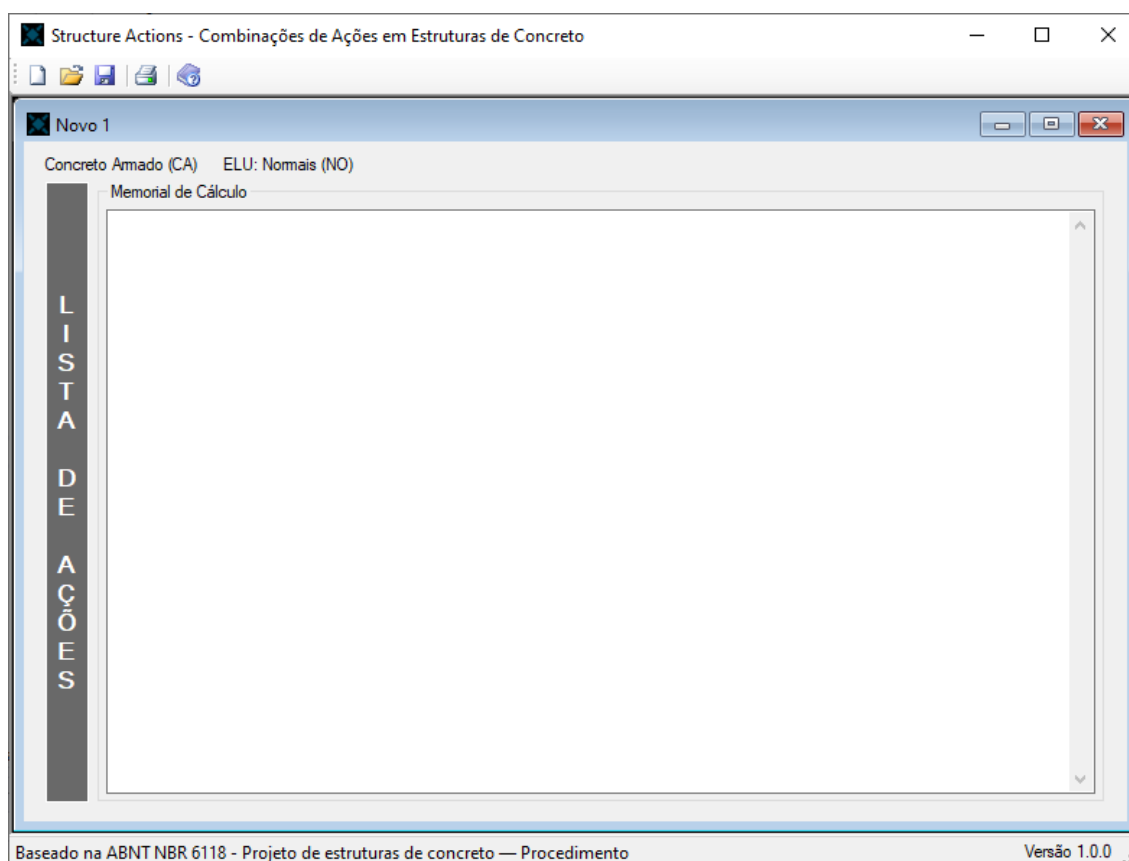
Fonte: Autores

Quando tenta inserir ou editar uma ação é feito uma validação dos dados, onde verifica se existe alguma configuração que não está de acordo com a norma ou com a configuração inicial.

Após inserir todas as informações pode ser visualizado o resultado com o memorial de cálculo ao clicar no botão “RESULTADO” na janela de lista de ações, nesse momento é feito uma verificação de inconsistência de dados por superfície e somente se tiver tudo de acordo é possível ver o resultado.

Para as combinações ELU é validado se existe no mínimo uma ação direta permanente e uma ação direta variável, no caso das combinações do ELS é verificado se existe uma ação permanente e uma variável, independentemente do tipo ser direto ou indireto. Quando selecionado a combinação ELU “Excepcionais (EX)” é verificado se existe uma ação deste tipo.

Figura 13 – Janela de Resultado



Fonte: Autores

## 9.2 ARQUIVO DE IMPORTAÇÃO

O arquivo de importação é do tipo CSV que significa “comma-separated-values” (valores separados por vírgulas), porém na ferramenta foi utilizado uma variação desse tipo que



em vez de usar a vírgula é utilizado o ponto e vírgula (;). Esse tipo de arquivo é utilizado para transferência de informações entre sistemas distintos, sabendo-se a estrutura dos dados qualquer sistema consegue interpretar, pois a sua leitura é como um arquivo de texto simples.

O Excel consegue gerar arquivos CSV, para o tipo separado por ponto e vírgula (;) deve-se “Salvar uma Cópia” e selecione a opção "CSV (Macintosh) (\*.csv)" ou "CSV (MS-DOS) (\*.csv)". Além de gerar o Excel consegue alterar esse tipo de arquivo, tornando a utilização desse tipo de arquivo muito versátil por muitas pessoas saber utilizar o Excel. A seguir um exemplo básico de CSV:

Figura 14 – Exemplo de Arquivo CSV no Excel

	A	B
1	Integrante	Funcao
2	JOSE AIRTON CARDOSO ARAUJO JUNIOR	Desenvolvimento
3	LUCAS DE OLIVEIRA NUNES	Especificacao

Fonte: Autores

Figura 15 – Exemplo de Arquivo CSV no Editor de Texto

```
Integrante;Funcao
JOSE AIRTON CARDOSO ARAUJO JUNIOR;Desenvolvimento
LUCAS DE OLIVEIRA NUNES;Especificacao
```

Fonte: Autores

Para a Ferramenta entender o arquivo de importação é preciso que na primeira linha tenha um cabeçalho com os seguintes campos: superfície, tipo, descricao, valor, efeito, fator, cqp, cf e cr. Nas demais linhas as informações correspondentes de cada ações, sendo uma ação por linha. Basicamente o arquivo de importação salva todas as ações a partir de uma planilha orientada, logo isso ajuda o usuário a inserir de forma mais prática as ações.

A seguir a explicação de cada um dos itens do cabeçalho:

- superfície – Informa a superfície que a ação está situada, é um valor alfanumérico de no mínimo 3 caracteres;
- tipo – Informa o tipo de ação, um dos tipos a seguir:
  - PG – Permanente Geral;
  - PP – Permanente de Protensão (Utilizado quando o Tipo de Concreto Estrutural for um dos 3 níveis de Concreto Protendido);

- PR – Permanente de Recalques de Apoio e Retração;
- VG – Variável Geral;
- VT – Variável de Temperatura;
- EX – Excepcional (Utilizado somente para a Combinações Excepcionais do ELU).
- descricao – Informa uma descrição para identificação da ação, é um valor alfanumérico de no mínimo 5 caracteres;
- valor – Informa o valor da força atuante na estrutura em kN/m, é um valor numérico;
- efeito – Serve para identificar o fator de ponderação da ação permanente, utilize um dos tipos a seguir:
  - D – Desfavorável;
  - F – Favorável;
  - OBS.: Vazio para as ações variáveis.
- fator – Serve para identificar os fatores de combinação e redução para as ações variáveis, utilize um dos tipos a seguir:
  - Para VG – Variável Geral:
    - A1 – “Cargas acidentais de edifícios: Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas (Edificações residenciais, de acesso restrito)”;
    - A2 – “Cargas acidentais de edifícios: Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas (Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público)”;
    - A3 – “Cargas acidentais de edifícios: Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens”;
    - V – “Vento: Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral”.
  - Para VT – Variável de Temperatura:
    - T – “Temperatura: Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local “.

- OBS.: Vazio para as ações permanentes.
- cqp: Informa se a ação é para ser utilizada no cálculo de “Combinação quase permanente”, somente para “Concreto Protendido Nível 1 (Protensão Parcial - PP)”. Utilize um dos tipos a seguir:
  - S – Sim;
  - N – Não;
  - OBS.: Vazio para os demais Tipo de Concreto Estrutural.
- cf: Informa se a ação é para ser utilizada no cálculo de “Combinação frequente”, para todos os Tipos de Construção Estrutural com exceção da “Concreto Simples (CS)”. Utilize um dos tipos a seguir:
  - S – Sim;
  - N – Não;
  - OBS.: Vazio para os demais Tipo de Concreto Estrutural.
- cr: Informa se a ação é para ser utilizada no cálculo de “Combinação rara”, somente para “Concreto Protendido Nível 3 (Protensão Completa - PC)”. Utilize um dos tipos a seguir:
  - S – Sim;
  - N – Não;
  - OBS.: Vazio para os demais Tipo de Concreto Estrutural.

A seguir exemplo do cabeçalho no Excel e no Editor de Texto:

Figura 16 – Exemplo do Cabeçalho no Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	superficie	tipo	descricao	valor	efeito	fator	cqp	cf	cr
2									

Fonte: Autores

Figura 17 – Exemplo do Cabeçalho no Editor de Texto

```
superficie;tipo;descricao;valor;efeito;fator;cqp;cf;cr
```

Fonte: Autores

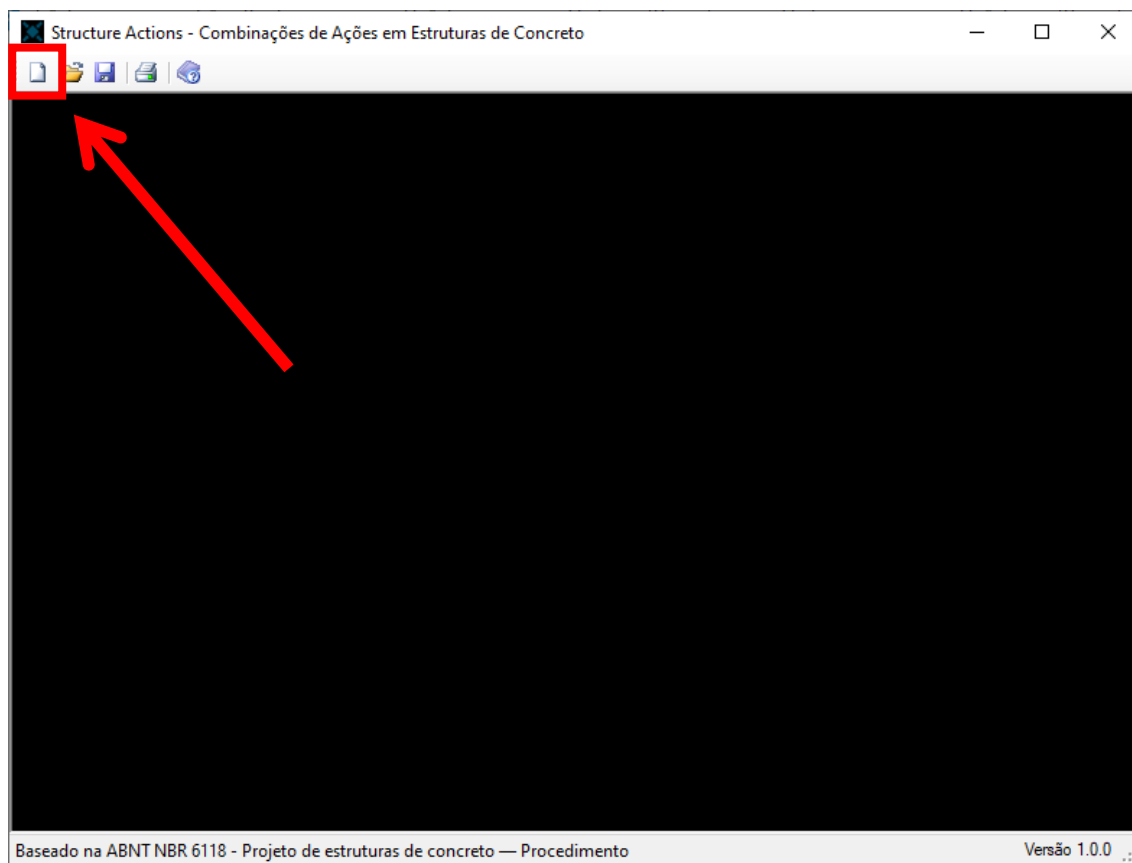
## 10 SIMULAÇÃO DE USO

A simulação consiste em uma Viga de “Concreto Armado” que será calculada no para o ELU como “Normal”, iremos usar os seguintes valores hipotéticos:

- Peso Próprio de 24,06 kN/m;
- Sobrecarga de 7,48 kN/m;
- Vento de 2,53 kN/m;
- Carga Acidental 88,79 kN/m.

Primeiro vamos apertar no ícone de novo:

Figura 18 – Simulação – Criar Novo



Fonte: Autores

Será aberto a janela a seguir e nela iremos escolher o Tipo de Concreto Estrutural como “Concreto Armado (CA)” e a Combinação de Ações (ELU) como “Normais (NO)”, conforme o nosso exemplo. Com isso clicamos em “AVANÇAR”.

Figura 19 – Simulação – Definições Iniciais

**Criar Novo**

Tipo de Concreto Estrutural  
Concreto Armado (CA)

Combinações de Ações (ELU)  
Normais (NO)

**AVANÇAR**

Fonte: Autores

A próxima janela que é aberta mostra a lista de ações, no começo vazia pois ainda não inserimos nenhuma ação. Para inserir uma nova ação iremos clicar no botão “NOVA AÇÃO”.

Figura 20 – Simulação – Lista de Ações

**Structure Actions - Combinações de Ações em Estruturas de Concreto**

**Novo 1**

Concreto Armado (CA) ELU: Normais (NO)

**NOVA AÇÃO**

**Lista de Ações**

Superfície	Descrição	Valor (kN/m)	Tipo de Ação	Efeito	Combinação Frequentes de Serviço (CF)	Coeficiente de Ponderação (γ)

**R E S U L T A D O**

Baseado na ABNT NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento

Versão 1.0.0

Fonte: Autores

Com isso vamos inserir nossas ações, a primeira que iremos inserir é o Peso Próprio, nós atribuímos uma descrição, inserimos o valor, definimos o tipo e efeito, informamos a superfície e a Combinação de Serviço (ELS). Por fim, clicamos em “INSERIR”.

Figura 21 – Simulação – Inserção do Peso Próprio

Fonte: Autores

Na próxima janela podemos ver o Peso Próprio na lista de ações, nesse momento podemos visualizar que o Coeficiente de Ponderação ( $\gamma$ ) foi atribuído:

Figura 22 – Simulação – Lista de Ações com o Peso Próprio

Superfície	Descrição	Valor (kN/m)	Tipo de Ação	Efeito	Combinação Frequentes de Serviço (CF)	Coeficiente de Ponderação ( $\gamma$ )	Fator de Combinação ( $\psi_0$ )	Fator de Redução ( $\psi_1$ )	Fator de Redução ( $\psi_2$ )
VIGA	Peso Próprio	24,06	Permanente Geral (PG)	Desfavorável (D)	sim	1,4			

Fonte: Autores

Nós repetimos o mesmo processo para as demais ações, configurando todas as informações de acordo com a ação que está sendo cadastrada, para facilitar após a primeira inserção é mostrado uma lista de superfície.

Figura 23 – Simulação – Inserção da Sobrecarga

**Nova Ação**

Dados

Descrição: Sobrecarga

Valor: 7,48 kN/m

Tipo: Permanente Geral (PG)

Efeito: Desfavorável (D)

Superfície

Nova Superfície

ou selecione uma superfície existente

VIGA

Combinações de Serviço - ELS

☒ Frequentes (CF)

CANCELAR INserir

Fonte: Autores

Figura 24 – Simulação – Inserção do Vento

**Nova Ação**

Dados

Descrição: Vento

Valor: 2,53 kN/m

Tipo: Variável Geral (VG)

Superfície

Nova Superfície

ou selecione uma superfície existente

VIGA

Combinações de Serviço - ELS

☒ Frequentes (CF)

Fator de Combinação e Fatores de Redução

	Sigla	Descrição	Fator de Combinação ( $\psi_0$ )	Fator de Redução ( $\psi_1$ )	Fator de Redução ( $\psi_2$ )
	a1	Cargas acidentais de edifícios: Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas (Edificações residenciais, de acesso restrito)	0,5	0,4	0,3
	a2	Cargas acidentais de edifícios: Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas (Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público)	0,7	0,6	0,4
	a3	Cargas acidentais de edifícios: Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
▶	v	Vento: Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0

CANCELAR INserir

Fonte: Autores

Figura 25 – Simulação – Inserção da Carga Acidental

**Nova Ação**

Dados

Descrição: Carga Acidental

Valor: 88,79 kN/m

Tipo: Variável Geral (VG)

Superfície

Nova Superfície

ou selecione uma superfície existente

VIGA

Combinações de Serviço - ELS

☒ Frequentes (CF)

Fator de Combinação e Fatores de Redução

	Sigla	Descrição	Fator de Combinação ( $\Psi_0$ )	Fator de Redução ( $\Psi_1$ )	Fator de Redução ( $\Psi_2$ )
►	a1	Cargas acidentais de edifícios: Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas (Edificações residenciais, de acesso restrito)	0,5	0,4	0,3
	a2	Cargas acidentais de edifícios: Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas (Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público)	0,7	0,6	0,4
	a3	Cargas acidentais de edifícios: Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
	v	Vento: Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0

**CANCELAR** **INSERIR**

Fonte: Autores

Após ser inserido todas as ações podemos visualizá-las cadastradas, com seus respectivos coeficientes e fatores. É possível alterar ou deletar uma ação clicando em cima dela na lista.

Figura 26 – Simulação – Lista de Ações Completa

**Structure Actions - Combinações de Ações em Estruturas de Concreto - [Novo 1]**

Concreto Armado (CA) ELU: Normais (NO)

**NOVA AÇÃO**

Lista de Ações

	Superfície	Descrição	Valor (kN/m)	Tipo de Ação	Efeito	Combinação Frequentes de Serviço (CF)	Coefficiente de Ponderação ( $\gamma$ )	Fator de Combinação ( $\Psi_0$ )	Fator de Redução ( $\Psi_1$ )	Fator de Redução ( $\Psi_2$ )
►	VIGA	Peso Próprio	24,06	Permanente Geral (PG)	Desfavorável (D)	sim	1,4			
	VIGA	Sobrecarga	7,48	Permanente Geral (PG)	Desfavorável (D)	sim	1,4			
	VIGA	Carga Acidental	88,79	Variável Geral (VG)	Desfavorável (D)	sim	1,4	0,5	0,4	0,3
	VIGA	Vento	2,53	Variável Geral (VG)	Desfavorável (D)	sim	1,4	0,6	0,3	0

**RESULTADO**

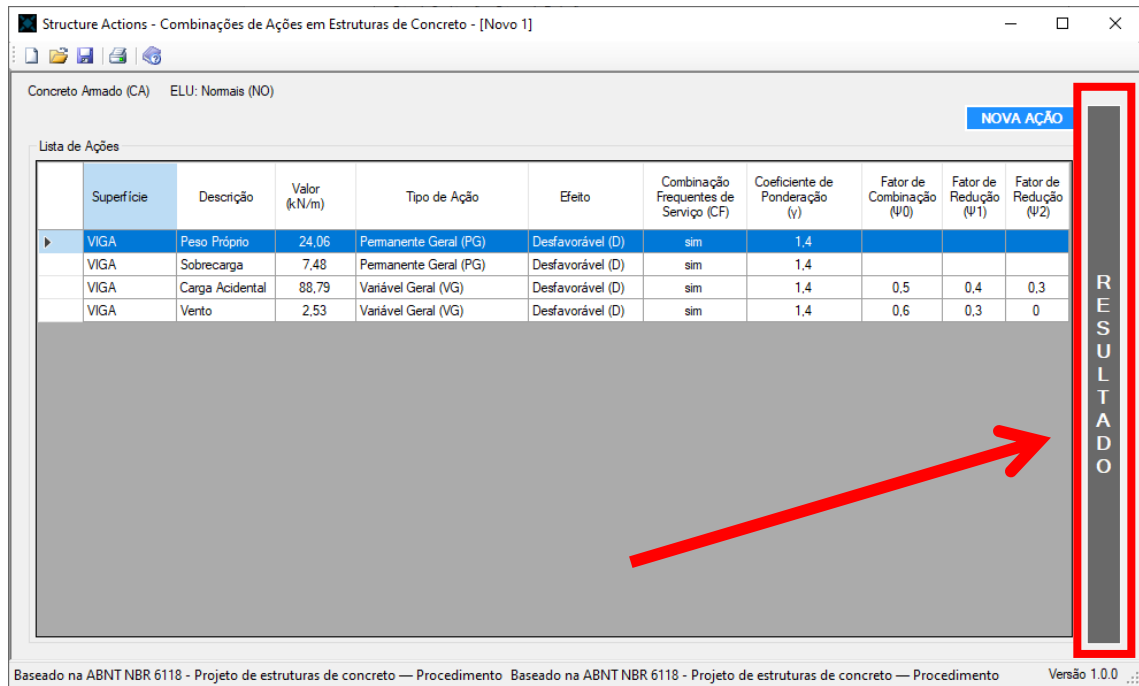
Baseado na ABNT NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento Baseado na ABNT NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento Versão 1.0.0

Fonte: Autores



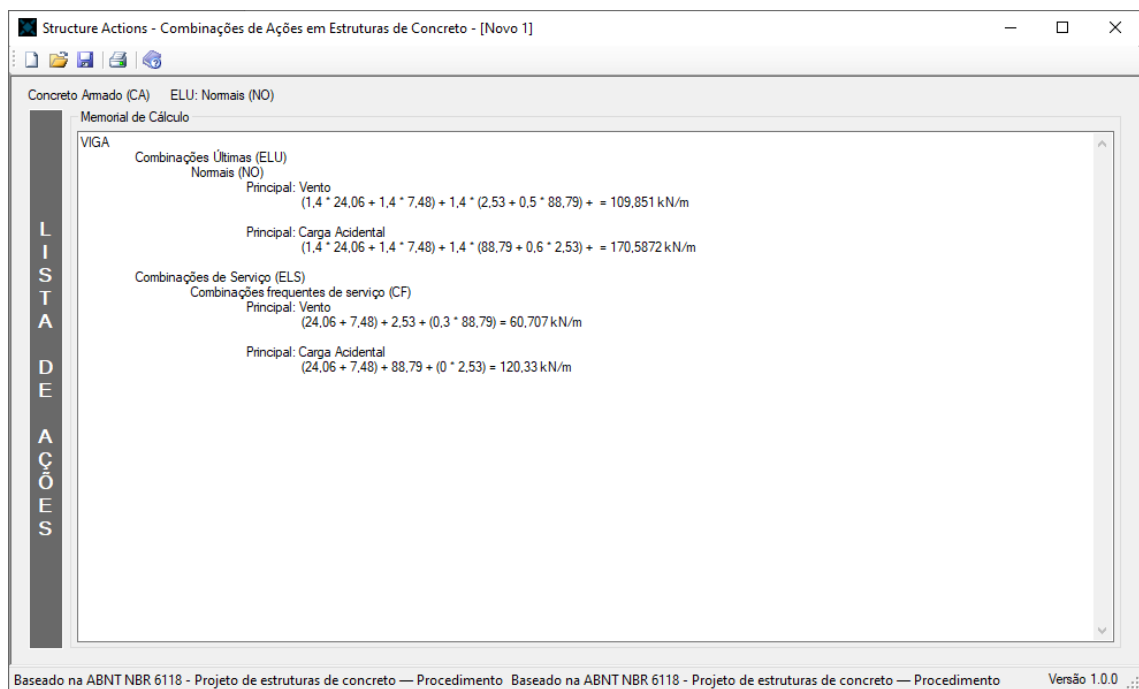
Com o cadastramento podemos gerar o resultado clicando no botão na lateral direita “RESULTADO”. A lista de ações será ocultada e o resultado será exibido, caso queira voltar para a lista de ações é só clicar no botão na lateral esquerda “LISTA DE AÇÕES”.

Figura 27 – Simulação – Botão para o Resultado



Fonte: Autores

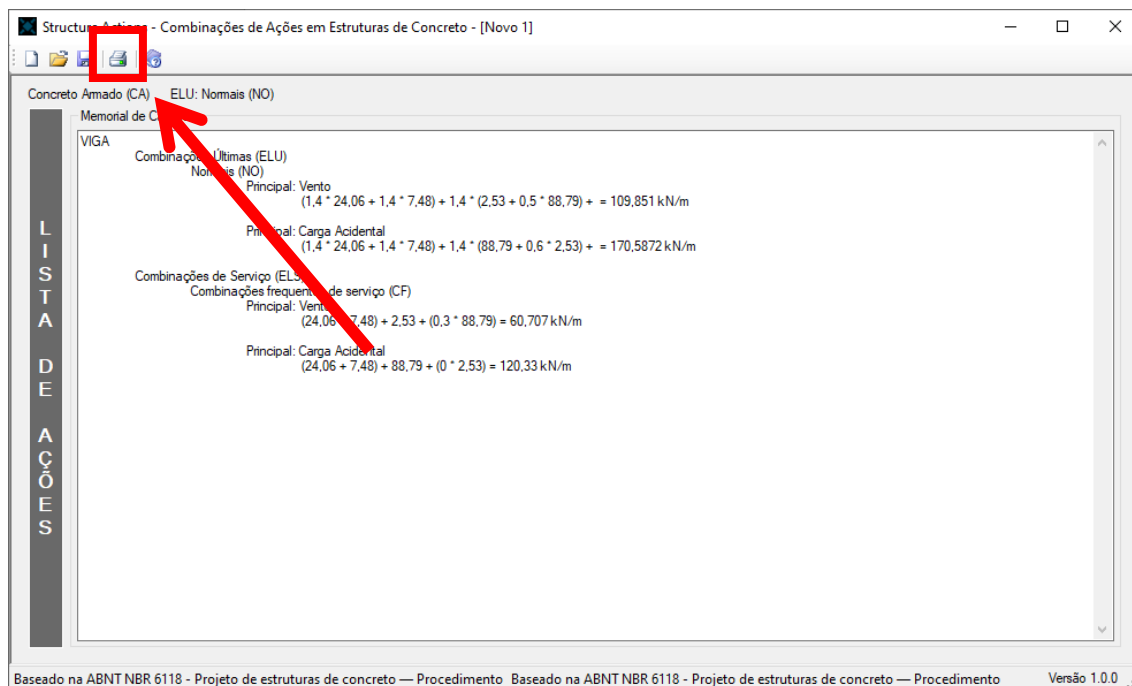
Figura 28 – Simulação – Resultado



Fonte: Autores

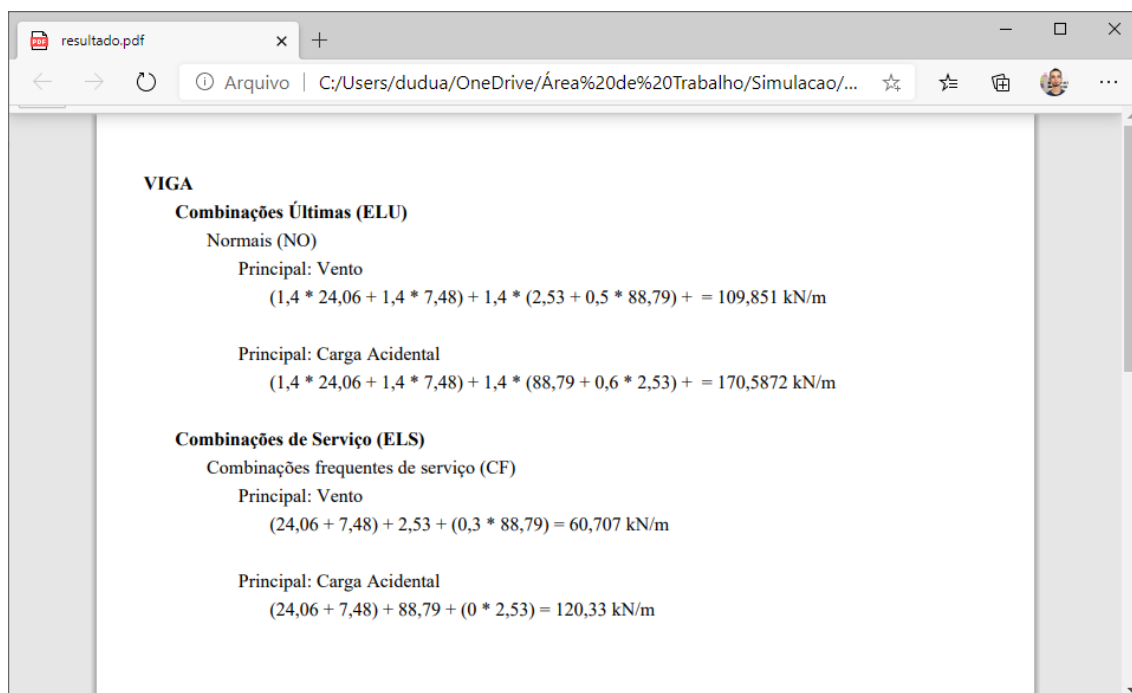
O resultado pode ser salvo no formato PDF, para isso é necessário clicar no ícone de “Gerar PDF”, informar o local onde quer salvar e clicar no botão “Salvar”. A ferramenta irá criar o PDF, quando ela finalizar o processo o PDF será aberto.

Figura 29 – Simulação – Gerar PDF



Fonte: Autores

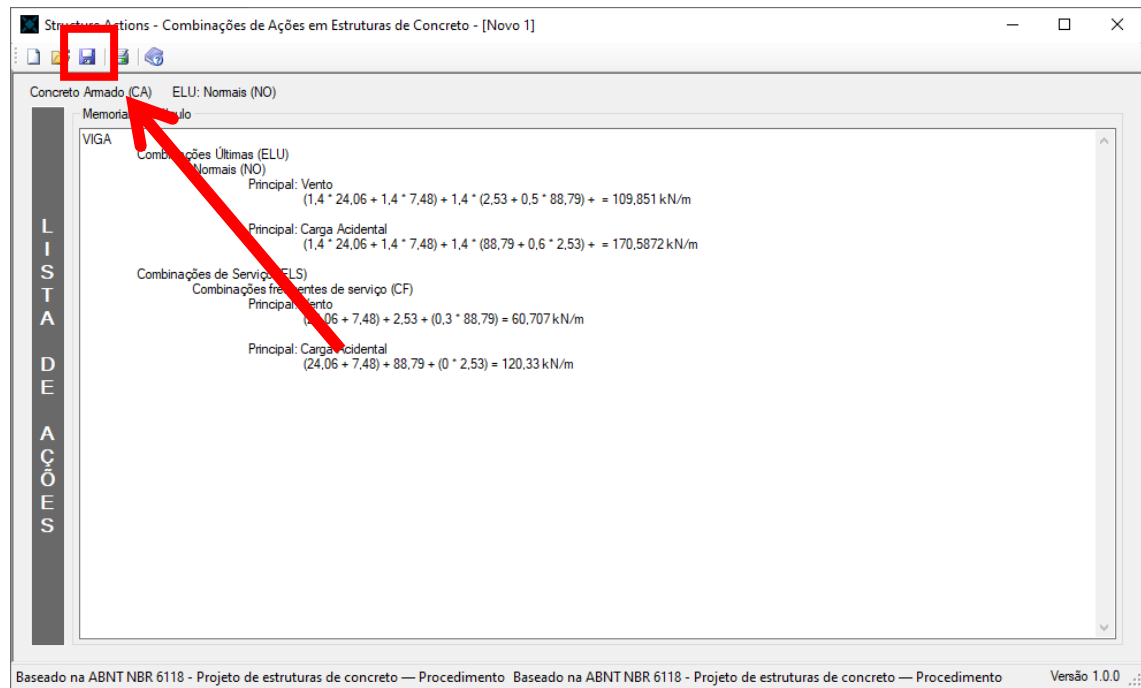
Figura 30 – Simulação – Visualização do PDF



Fonte: Autores

Também é possível salvar as ações no formato CSV (ponto e vírgula), para futuras correções e/ou ajuste. Esse modelo de arquivo pode ser editado no Excel ou em outras ferramentas, com isso se torna um jeito fácil de inserir as ações. Para salvar basta clicar no ícone “Salvar”, o mesmo processo de selecionar local de salvamento do PDF é válido para o CSV.

Figura 31 – Simulação – Salvar Ações



Fonte: Autores

Nas duas figuras a seguir podemos visualizar os dados no Excel e em um Editor de Texto.

Figura 32 – Simulação – CSV no Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	superficie	tipo	descricao	valor	efeito	fator	CQP	CF	CR
2	VIGA	pg	Peso Próprio	24,06	D			s	
3	VIGA	pg	Sobrecarga	7,48	D			s	
4	VIGA	vg	Vento	2,53	D	v		s	
5	VIGA	vg	Carga Acidental	88,79	D	a1		s	
6									
7									
8									

Fonte: Autores

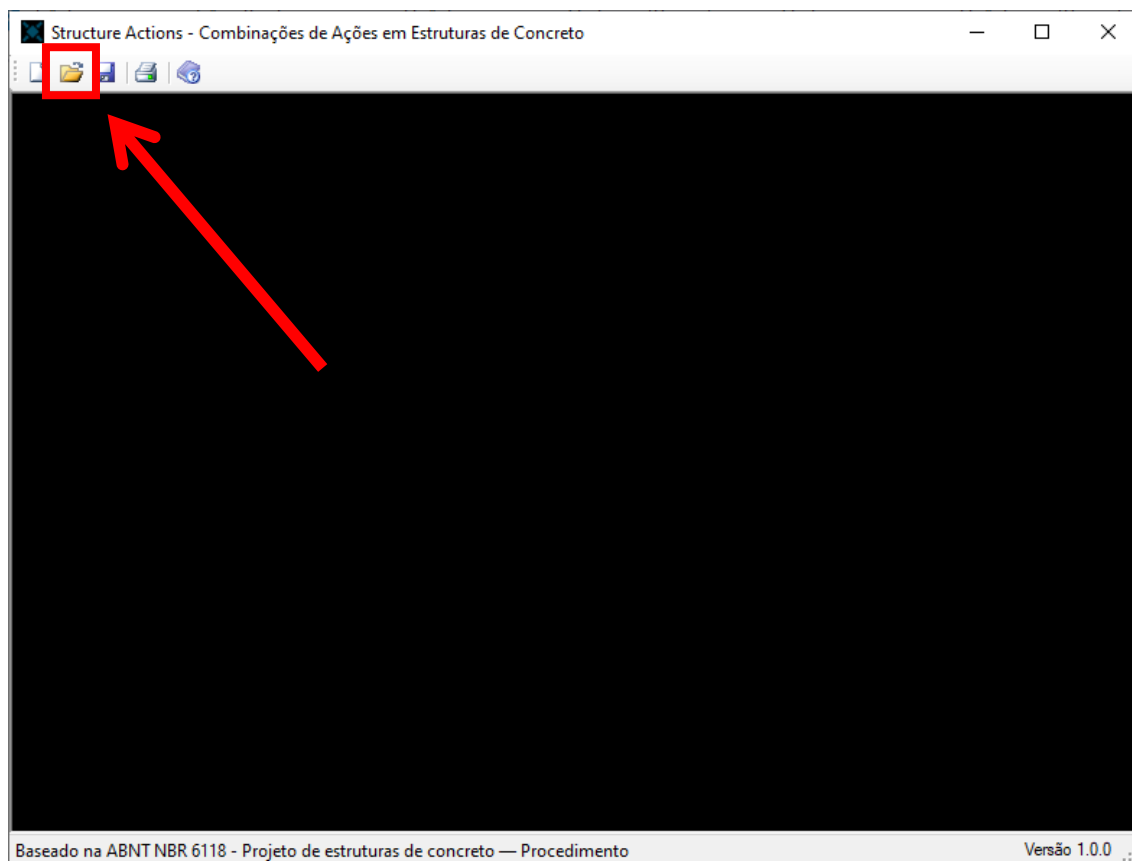
Figura 33 – Simulação – CSV no Editor de Texto

```
superficie;tipo;descricao;valor;efeito;fator;CQP;CF;CR  
VIGA;pg;Peso Próprio;24,06;D;;;s;  
VIGA;pg;Sobrecarga ;7,48;D;;;s;  
VIGA;vg;Vento ;2,53;D;v;;s;  
VIGA;vg;Carga Acidental ;88,79;D;al;;s;
```

Fonte: Autores

Para carregar as ações do arquivo CSV é necessário clicar no ícone “Abrir” e selecionar o arquivo com a lista de ações.

Figura 34 – Simulação – Abrir Arquivo CSV



Fonte: Autores

## 11 CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento da ferramenta computacional, conseguimos entender melhor todo o processo de avaliação de forças e de combinações que exige um bom entendimento de como age cada força separadamente e combinadas uma com as outras com seus respectivos valores já majorados ou reduzidos, implicando que o usuário conheça a norma que rege todo o processo que é a NBR 6118.

Como todo processo da ferramenta possui uma linguagem simples, pode ser usado tanto por pessoas que tenha conhecimento de programas computacionais como por pessoas que não tenham tanta facilidade, tornando muito fácil trabalhar na ferramenta, pois a cada passo ela vai informando as inconsistências, erros e falta de informação, de modo didático e simples.

Além de todos os ganhos para a engenharia com a criação da ferramenta computacional, pode-se conseguir ser implementada em outras ferramentas como o BIM, pra isso necessita de alguns ajustes e testes que futuramente poderão incluídos, o que aumentará um grande leque de opção para a engenharia, que ganhará ainda mais com esse novo recurso na ferramenta.

Com isso concluímos que a criação da ferramenta computacional será muito lucrativo para todos que a utilizarão na área de engenharia civil, que de algum modo necessita desses cálculos para que seja possível projetar de forma precisa e que contribuirá de algum modo para toda a população, que é o que buscamos como engenheiros civis.

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. Rio de Janeiro - RJ: ABNT, 2014.

ARAÚJO, E. C. D. C# e Visual Studio. **Casa do Código**. Disponível em: <<https://www.casadocodigo.com.br/products/livro-c-sharp>>.

CAELUM. C# e Orientação a Objetos. **Caelum**. Disponível em: <<https://www.caelum.com.br/download/caelum-csharp-dotnet-fn13.pdf>>. Acesso em: 27 abr. 2020.

MACORATTI, J. C. C# - Classe base, classe derivada e alguns conceitos básicos - I. **Macoratti.net**. Disponível em: <[http://www.macoratti.net/18/09/c\\_base1.htm](http://www.macoratti.net/18/09/c_base1.htm)>. Acesso em: 27 abr. 2020.

MACORATTI, J. C. O que significa Orientação a objetos? **Macoratti.net**. Disponível em: <[http://www.macoratti.net/oo\\_conc2.htm](http://www.macoratti.net/oo_conc2.htm)>. Acesso em: 27 abr. 2020.

MACORATTI, J. C. Orientação a objetos : Conceitos Básicos. **Macoratti.net**. Disponível em: <[http://www.macoratti.net/net\\_oocb.htm](http://www.macoratti.net/net_oocb.htm)>. Acesso em: 12 maio 2020.

MICROSOFT. Visual Studio 2019. **Microsoft**, 2019. Disponível em: <<https://visualstudio.microsoft.com/pt-br/vs/>>. Acesso em: 25 maio 2020.