



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

DIVISÃO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL – AERONÁUTICA

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO CURRICULAR
SUPERVISIONADO**



São José dos Campos, 27 de novembro de 2014

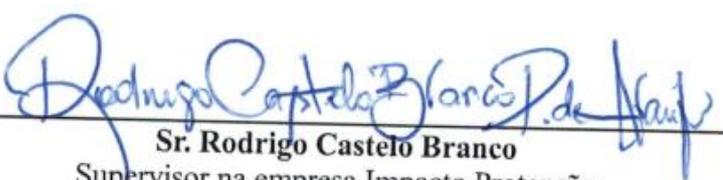
Rubens Farias de Albuquerque Neto

FOLHA DE APROVAÇÃO

Relatório Final de Estágio Curricular Supervisionado (ECS) aceito em 27 de novembro de 2014 pelos abaixo assinados:



Rubens Farias de Albuquerque Neto
Autor



Sr. Rodrigo Castelo Branco
Supervisor na empresa Impacto Protensão

Prof. MSc Francisco Alex Correia Monteiro
Orientador

Prof. PhD Eliseu Lucena Neto
Coordenador do Curso de Engenharia Civil-Aeronáutica

INFORMAÇÕES GERAIS

Estagiário

Rubens Farias de Albuquerque Neto
Curso: Engenharia Civil – Aeronáutica

Empresa/Departamento

Impacto Protensão
P&D

Orientador/Supervisor na Empresa

Sr. Rodrigo Castelo Branco

Orientador/Supervisor do ITA

Prof. MSc Francisco Alex Correia Monteiro

Período

03/02/2014 a 25/07/2014

Total de horas: 925 horas

1.Introdução

O presente trabalho de graduação é fruto do estágio realizado na empresa Impacto Protensão e da cooperação técnico-científica desta com o Laboratório de Modelagem Estrutural (LME) da Divisão de Engenharia Civil do ITA.

1.1 Motivação

A Impacto Protensão tem sede em Fortaleza e em mais oito estados do País (Amazonas, Bahia, Distrito Federal, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Paraná, Pernambuco e São Paulo). A empresa atua no mercado de protensão e insumos para a construção desde 1996, sendo referência nacional em soluções estruturais para tecnologias de protensão.

As quatro linhas de negócio da empresa são descritas a seguir.

Protensão aderente e não-aderente

Fornecimento e execução de protensão aderente e não-aderente. Como recentes projetos de inovação, tem-se: adoção de sistema de gerenciamento de processos e cronograma da execução do serviço de protensão.

Fôrmas planas e cubetas de plástico

Fornecimento e locação de fôrmas planas e cubetas de plástico utilizadas em lajes planas e nervuradas (armadas ou protendidas). Dentre os projetos de inovação em desenvolvimento dessa linha de negócio, tem-se: fôrmas planas de plástico com reforço metálico para a concretagem de lajes maciças, fôrmas de plástico para vigas altas, fôrmas de alumínio para pilares.

Cimbramento metálico

Fornecimento e locação de cimbramentos metálico para o suporte de fôrmas para a concretagem de vigas e lajes. Os cimbramentos em aço e alumínio da Impacto (CIMP) são substitutos dos tradicionais cimbramentos de madeira, tornando a montagem e desmontagem mais eficiente, além de reduzir a geração de resíduos. O CIMP é um sistema misto composto pelos seguintes elementos: longarina de distribuição (LD), cabeça de ancoragem (CA), pino (PI), longarina principal (LP) e escoras, conforme Figura 1. Dentre os projetos de melhoria contínua, tem-se a operacionalização em obra do cimbramento de alumínio.

Canteiro sustentável

Fornecimento e locação de canteiros sustentáveis de estrutura metálica com fechamento de plástico reciclado é uma recente inovação da empresa que tem possibilitado a abertura de novas frentes de mercado no segmento de edificações temporárias (postos de policiamento, salas comerciais e canteiros de obra).

P E Ç A S	VISTA
LP (LONG. PRINCIPAL)	
LD (LONG. DE DISTRIBUIÇÃO)	
LDS (LONG. DISTR. COM SARRAFO)	
CABEÇA COM PINO	
F O R C A D O	
PINO DE ANCORAGEM	

Figura 1 Componentes do CIMP.

O processo convencional de construção de lajes maciças consiste de fôrmas e escoras de madeira que sustentam a estrutura durante o processo de cura do concreto. A estrutura usual é mais pesada do que as estruturas utilizadas em outros métodos construtivos e apresenta um alto tempo de espera para reutilização. A fim de promover maior produtividade e redução de custos na construção de lajes maciças, a empresa Impacto Prontesão tem desenvolvido o sistema de fôrmas de plástico, denominado *Plasterit*. Este trabalho aborda a otimização do produto *Plasterit*.

Essas fôrmas são produzidas por injeção, utilizando polietileno virgem de alta qualidade, que permitem uma maior racionalização do produto, evitando desperdícios e gerando consequentemente benefício ambiental.

O *Plasterit* atual é uma placa plástica com as dimensões de 61 x 61 cm, na qual sua parte superior é completamente lisa e sua parte inferior nervurada para garantir maior rigidez (Figura 2). As dimensões da placa foram baseadas na modulação dos compensados de madeira (244 cm x 122 cm), com o intuito de substituir os mesmos nas obras.

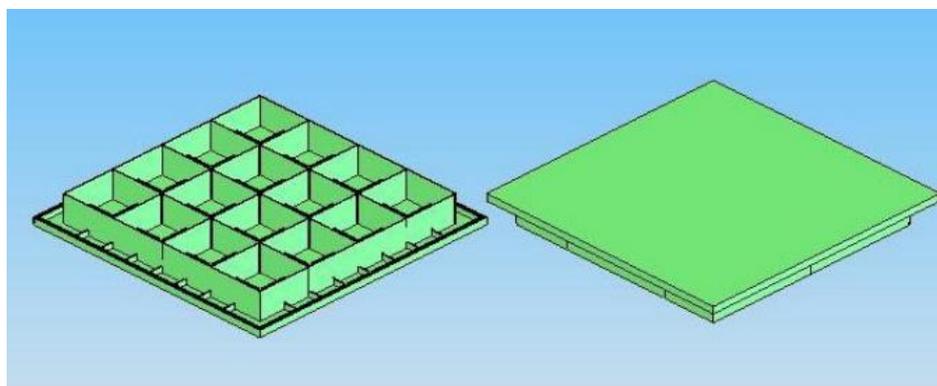


Figura 2 *Plasterit* 2013 (fonte: Impacto, 2013).

A sua composição tem como base o polipropileno, podendo ser virgem ou reciclado, e são colocados também aditivos para incrementar a estrutura da peça, que no final deve ter 610 mm de comprimento e nervuras de 3 mm de espessura, superfície lateral lisa, arestas perpendiculares e boa estanqueidade, isto é, ser capaz de impedir o vazamento excessivo de concreto entre as fendas das fôrmas durante a concretagem.

Os *Plasterits* e os assoalhos de madeirite se apoiam na LD que se apoia na CA e que, por sua vez, se apoia no PI. Esse último transfere toda a carga da laje para a LP, que finalmente a transfere para as escoras. As Figuras 3 e 4 mostram o Sistema Deckflex constituído pelos *Plasterits* montados sobre o CIMP em uma obra real para construção de lajes planas maciças.



Figura 3 Vista inferior dos *Plasterits* sobre o CIMP.



Figura 4 Vista superior dos *Plasterits* sobre o CIMP.

A facilidade de montagem das fôrmas permite que o operário precise apenas colocar peças sobre o CIMP, acopladas umas nas outras e enfileiradas, sem a necessidade de utilizar arames, pregos ou quaisquer outros tipos de material para amarração como se faz com os madeirites. As partes conectáveis possibilitam que o operário monte a fôrma como um sistema simples de encaixe.

O *Plasterit* 2013 atende às seguintes demandas de mercado: assoalho para cubetas plásticas empregadas na construção de lajes nervuradas; fôrma plana para construção de vigas faixa protendidas e lajes maciças com forro de gesso. Entretanto o *Plasterit* 2013 não atende a quesitos de serviço como, por exemplo: flecha, estanqueidade e segurança operacional. Dentre os atributos do *Plasterit* que podem ser melhorados, tem-se:

- A modulação 61 x 61 cm exige um emprego significativo de compensado de madeira em torno de vigas, pilares e bordas das lajes (Figura 5);



Figura 5 (a) Necessidade de madeira para completar acabamento em torno dos pilares; (b) Compensado de madeira para acabamento em torno dos pilares (fonte: Impacto, 2014).

- Flecha excessiva da laje depois de submetida ao carregamento permanente, o que expõe um deslocamento irregular da laje e acaba por exigir a utilização de forro, conforme a Figura 6.



Figura 6 Flecha excessiva da laje (fonte: Impacto, 2014).

- Estanqueidade ineficiente, o que provoca vazamento de água e concreto durante a concretagem da laje. Conforme a Figura 7, o concreto que passa pela fôrma, fica aderido na superfície da laje anterior, aumentando o trabalho de acabamento da mesma.



Figura 7 Vazamento de concreto entre as juntas do *Plasterits* (fonte: Impacto, 2014).

- Necessidade de maior segurança por não haver nada abaixo do *Plasterit* que segure o operário em caso de rompimento da peça (Figura 8).



Figura 8 Necessidade de maior segurança (fonte: Impacto, 2014).

A fim de se otimizar o sistema de fôrmas de plástico para lajes planas maciças para atender o mercado estratégico de São Paulo, a Impacto Protensão se propôs a iniciar um projeto de otimização de um sistema de fôrmas híbrido (plástico + reforço) que obedeça algumas restrições estruturais (deslocamentos e tensões) e operacionais (estanqueidade, acabamento, montagem, desforma).

Como forma de reduzir custos de produção e aumentar a chance de sucesso do produto, a Impacto Protensão tem a necessidade de aplicar uma metodologia de Gestão da Inovação na otimização em estudo.

1.2 Objetivo

Aplicar conceitos de Gestão da Inovação na otimização do sistema de fôrmas híbridas para lajes maciças da empresa Impacto Protensão. Fornecer um algoritmo prático para formulação e solução de problemas e gestão de processos inovadores.

1.3 Estrutura do Trabalho

O trabalho está estruturado em quatro itens. O Capítulo 2 apresenta ferramentas práticas para formulação, solução e gestão da inovação em sistemas técnicos (STs). O Capítulo 3 aplica o modelo proposto na otimização do sistema de fôrmas híbridas para lajes maciças. O Capítulo 4 traz alguns comentários e conclusões, além de sugestões para trabalhos futuros. O Anexo A constitui um ensaio de deslocamento a fim de se verificar o ELS referente à flecha da laje. Por último, os Anexos B e C constituem ferramentas que auxiliam na formulação e solução de problemas inventivos.

2. Aplicação

Empregaram-se os conceitos de inovação sistemática, em particular, a TRIZ, e de desenvolvimento incremental e iterativo no estudo de soluções para construção de lajes maciças de edificações residenciais e comerciais. A fim de atender a esse mercado, buscou-se, neste trabalho, fazer a otimização do sistema de fôrmas híbridas para lajes maciças.

2.1 Demanda

Os clientes do sistema técnico (ST) a ser desenvolvido são empreiteiras especializadas na construção de edifícios residenciais e comerciais de lajes maciças que buscam aumento de competitividade pelo redução de custo na execução da estrutura.

A demanda específica a ser sanada pelo ST em estudo é a construção de lajes maciças de forma rápida, sem necessidade de mão de obra especializada e nem de acabamento.

2.2 Sistema Técnico

Os STs que existem hoje para essa demanda são:

- Fôrmas (madeirite) e escoramento de madeira;
- Fôrmas de plástico (*Plasterit*) e escoramento metálico do sistema Impacto (CIMP).

O ST a ser desenvolvido é uma melhoria do sistema Impacto e consiste na otimização de sistema de fôrmas híbridas, para lajes maciças, que inclui os componentes da Tabela 1.

Tabela 1 Componentes do sistema de fôrmas para lajes maciças.

Peça	Função	Material
<i>Plasterit</i> com metalon	Suportar o peso do concreto até este ter consistência suficiente para suportar o peso próprio e cargas eventuais atuantes na estrutura	EP200K (virgem + reciclado) com Aço SAE 1010
Perfil LDI	Receber e transmitir para as LP's as cargas dos plasteterites	Alumínio 6005 T6
Longarina Principal	Receber e transmitir para as escoras as cargas da LDI	SAE 1010
Escoras Metálicas comuns	Receber e transmitir para o solo as cargas das LP's	MR 250

Vale ressaltar que, neste estudo, será feito apenas a otimização do projeto da fôrma híbrida plana (*Plasterit* e reforço metálico), uma vez que o CIMP já passou pelo processo de melhoria.

2.3 Sistema Técnico Ideal

Aplicando os conceitos da Lei da Idealidade para a demanda em estudo, tem-se que o STI consiste em:

- Fôrma gratuita, de peso nulo; deformação nula; estanqueidade infinita, indestrutível; de modularização infinita.

2.4 Lacuna

A fim de definir a lacuna do ST em otimização, realizou-se uma pesquisa de satisfação em 10 obras de clientes e organizou-se um comitê de inovação com os representantes das principais construtoras clientes da Impacto Protensão. No comitê de inovação, fez-se um levantamento de necessidades dos clientes e apresentaram-se recentes inovações da Impacto Protensão a fim de colher feedbacks.

A partir da **Error! Reference source not found.**, avaliou-se o grau de satisfação dos clientes frente aos STs disponíveis hoje para atender a demanda em estudo, resultando na Tabela 2.

Tabela 2 Métricas para execução de lajes maciças.

Parâmetro	Direção	Medida	Objeto	IMP	SAT
1	Min	Quantidade	Mão de obra	3	2
2	Min	Tempo	Execução	3	2
3	Min	Flecha	Fôrmas	3	1
4	Max	Segurança	Operários	3	2
5	Min	Peso	Fôrmas	2	2
6	Max	Estanqueidade	Fôrmas	2	1
7	Min	Quantidade	Madeira	3	2
8	Min	Custo	Serviço	3	2

A partir da **Error! Reference source not found.**, priorizou-se os parâmetros específicos, resultando na Tabela 3.

Tabela 3 Priorização dos parâmetros do *Plasterit*.

IMP/SAT	Parâmetro	Direção	Medida	Objeto
3	3	Min	Flecha	Fôrmas
2	6	Max	Estanqueidade	Fôrmas
1.5	1	Min	Quantidade	Mão de obra
1.5	2	Min	Tempo	Execução
1.5	4	Max	Segurança	Operários
1.5	7	Min	Quantidade	Madeira
1.5	8	Min	Custo	Serviço
1	5	Min	Peso	Fôrmas

Uma vez que os parâmetros específicos do ST devem satisfazer restrições de projeto quantitativas e qualitativas, conforme os requisitos do cliente e a NBR 15575-2/2013 (ABNT 2013), é que se faz necessários os conceitos de estados limites.

Estados limites

O conceito de estado limite é dado pela situação (limite) a partir da qual a estrutura deixa de atender a uma das finalidades de sua construção. Para uma edificação, espera-se que a mesma deva reunir condições adequadas de segurança, funcionalidade e durabilidade, para que atenda às necessidades de que foi projetada. Logo, quando uma estrutura deixa de atender a esses requisitos, diz-se que ela atingiu um estado limite. Dessa forma, uma estrutura pode atingir um estado limite de ordem estrutural ou de ordem funcional. Assim, temos os dois tipos de estados: estados limites de serviço (deslocamentos, vibrações) e estados limites últimos (ruína, instabilidade, fabricação).

Estado Limite de Serviço (ELS)

Compilando-se as necessidades encontradas, definiram-se os seguintes estados limite de serviço.

Flecha

Conforme a NBR 15575-2 2013 (ABNT 2013), tem-se que a flecha máxima admissível é o mínimo entre $L/500$ e 1 cm, onde L é o comprimento do vão. Como os vãos para lajes maciças protendidas são em geral maiores que 5 m, tem-se que a flecha máxima admissível da laje é de 1 cm.

Uma vez que os *Plasterits*, que recebem o concreto da laje, estão apoiados nas LDs conforme a Figura 9, tem-se que a soma dos deslocamentos do *Plasterit* e da LD deve satisfazer à restrição de flecha limite da laje:

$$\delta_{Plast} + \delta_{LD} \leq L_{lim,Laje}$$

$$\delta_{Plast} + \frac{L_{LD}}{500} \leq L_{lim,Laje}$$

Há disponibilidade de LD's de 122 cm e de 183 cm, mas adotou-se o caso crítico, isto é, a de maior comprimento. Substituindo L_{LD} por 1830 mm e $L_{lim,Laje}$ por 10 mm:

$$\delta_{Plast} + \frac{1830}{500} \leq 10$$

$$\delta_{Plast} \leq 6,34 \text{ mm.}$$

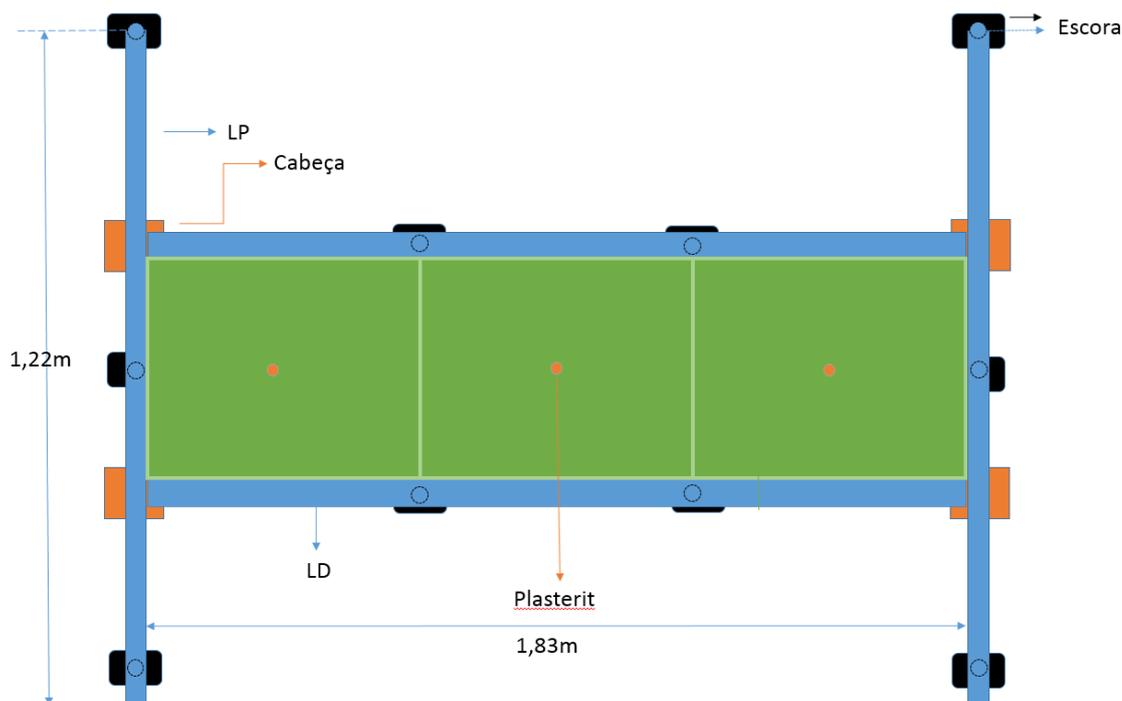


Figura 9 Vista em planta de *Plasterits* sobre o CIMP.

A fim de se verificar a adequação da flecha da laje ao ELS, que impõe 10 mm como limite, realizou-se um ensaio de deslocamento, descrito no Anexo A. Para a verificação do deslocamento limite do *Plasterit*, que é de 6,34 mm, sugere-se a realização de uma análise de elementos finitos.

Estanqueidade

Uma vez que o *Plasterit* híbrido será utilizado para a construção de lajes maciças sem forro de gesso, ele deverá possuir uma estanqueidade suficiente para garantir uma laje lisa.

Manuseio

O *Plasterit* híbrido deverá ter facilidade de manuseio suficiente a fim de garantir sua fácil montagem.

Segurança Operacional

O *Plasterit* híbrido deverá proporcionar segurança ao operário de forma a diminuir o risco de acidentes e aumentar a produtividade da sua montagem.

Estado Limite Último (ELU)

Além dos parâmetros funcionais demandados, devem-se levantar os parâmetros técnicos a serem atendidos que são definidos como restrições estruturais no caso do objeto em estudo.

Segundo a NBR 6118/2014 (ABNT 2014), o estado limite último é definido como o estado limite relacionado ao colapso, ou a qualquer outra forma de ruína estrutural, que tenha um tempo de atuação muito pequeno. Definiram-se os seguintes estados limite último.

Tensões Admissíveis

Considera-se a tensão admissível σ_{adm} do polipropileno PP200 como sendo a tensão de escoamento $\sigma_y = 7,5$ Mpa multiplicada pelo fator de 0,6:

$$\sigma_{adm} = 0,6 \times \sigma_y = 4,5 \text{ Mpa.}$$

Considera-se também que a demanda da maioria dos clientes é a construção de lajes maciças de até 30 cm. Assim,

- Peso próprio da laje de 30 cm $L_{30} = 750 \text{ kgf/m}^2 = 7,36 \text{ kPa}$;
- Impacto devido ao lançamento do concreto $I = 150 \text{ kg/m}^2 = 1,47 \text{ kPa}$;
- Sobrecarga das caixas $C = 16,12 \text{ kg/m}^2 = 0,16 \text{ kPa}$, a fim de também poder ser usado como assoalho para caixas plásticas na construção de lajes nervurada;
- Sobrecarga de operários $S = 100 \text{ kg/m}^2 = 0,98 \text{ kPa}$;
- Carga_{ELU} = $L_{30} + I + C + S = 1016,12 \text{ kg/m}^2 = 9,97 \text{ kPa}$.

Sugere-se para a continuidade deste trabalho, a realização de uma análise de elementos finitos a fim de se verificar se todos os elementos da peça satisfazem a tensão admissível quando o sistema é submetido ao carregamento de 9,97 kPa.

Flambagem

Sugere-se também para a continuidade deste trabalho, a realização de uma análise de elementos finitos por a fim de se verificar se nenhum dos elementos da peça perde estabilidade.

2.5 Desenvolvimento Incremental e Iterativo

Trabalha-se as etapas de Parâmetros de Engenharia, Princípios Inventivos, Otimização, Avaliação de Impacto e Avaliação de Risco em cada iteração do Método de Desenvolvimento Incremental e Iterativo com base na Tabela 4.

Neste estudo, compararam-se os seguintes STs para construção de lajes maciças sem forro de gesso:

- *Plasterit* 61 x 61 cm (Figura);
- *Plasterit* 61 x 61 cm com reforço de aço metalon (Figura);
- *Plasterit* 122 x 61 cm com reforço de aço metalon (Figura).



Figura 10 *Plasterit* com 61 cm e superfície lateral lisa e arestas perpendiculares.



Figura 11 *Plasterit* reforçado com três barras de aço metalon (fonte: Impacto, 2014).

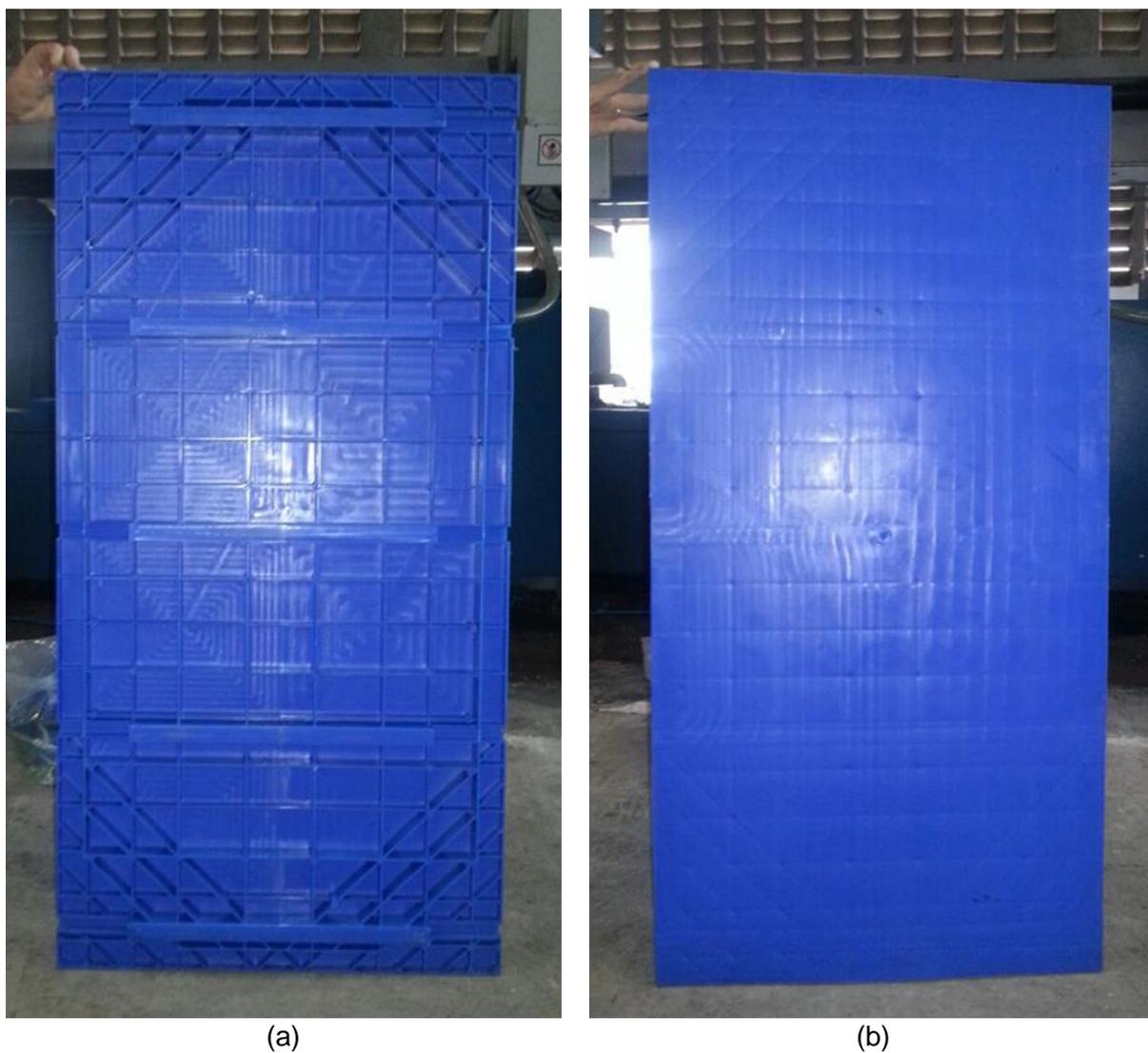


Figura 12 *Plasterit* 122 x 61 cm fabricado (Versão 7) (a) Vista inferior; (b) Vista superior.

Tabela 4 Desenvolvimento incremental e iterativo.

Direção	Parâmetro a melhorar	Parâmetro a preservar	Princípio Inventivo	Otimização	Impacto	Risco
Direção à oferta ideal				Modificação que busca a diminuição da lacuna por meio da solução de contradições	Resultado positivo da otimização	Risco resultante da modificação

Capítulo 4

Conclusão

A gestão da inovação consiste na criação de condições para que ocorra o processo contínuo e permanente de produção de inovações. Entretanto, a simples aplicação de técnicas tradicionais de engenharia não produz resultados notáveis nesse campo. Para proporcionar rapidamente valor e capacidade de resposta, a inovação deve ser sistematizada por processos. Ferramentas como a TRIZ e modelos de gestão de projetos como o DII auxiliam a racionalizar a geração de valor ao se considerar a situação problemática, a solução e o processo de solução como sistemas.

A aplicação da metodologia proposta na otimização do sistema de fôrmas híbridas para lajes maciças permitiu formalizar o problema, propor soluções, avaliar benefícios e riscos de modificações ainda na fase de projeto conceitual, diminuindo o custo total de desenvolvimento e maximizando a geração de valor do produto. Para continuidade deste projeto de otimização, sugere-se a realização de testes computacionais e testes *in loco* a fim de se verificar a adequação do produto aos estados limites definidos. O ensaio de deslocamento dos dois primeiros modelos ratificou a melhoria parcial do processo de otimização. Por fim, o trabalho é base para estudos de otimização e desenvolvimento de produtos de baixa complexidade para a indústria.