



**COMPARATIVO ENTRE LAJES NERVURADAS UNIDIRECIONAIS E
LAJES PROTENDIDAS COM CORDOALHAS ENGRAXADAS**

CURITIBA
2013



GIUSEPPE ROMANO CANALLI

LUCIANO REIS

LUIZ GUSTAVO MILARCK

**COMPARATIVO ENTRE LAJES NERVURADAS UNIDIRECIONAIS E
LAJES PROTENDIDAS COM CORDOALHAS ENGRAXADAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Gerenciamento e Execução de Obras, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Gerenciamento e Execução de Obras.

Orientador: Prof.: Maurício Bianchini, MSC.

Co-Orientador: Prof.^a: Patricia Ribeiro da Silva Brandão, MSC.

CURITIBA
2013

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus que nos proporcionou a oportunidade de estudarmos juntos no Instituto IDD e realizar este trabalho de conclusão de curso.

Também tornamos público no agradecimento aos nossos familiares, esposa e namoradas que estiveram ao nosso lado nos apoiando durante o curso e principalmente no que se diz respeito a este trabalho.

Muito obrigado ao Prof. Mauricio Bianchini, MSC que acreditou em nosso potencial e nos auxiliou ao longo destes dois anos de curso especialmente nestes últimos dois meses, colocando em nossos pensamentos a vontade de terminar nosso trabalho e a lembrança do nosso empenho no decorrer do curso.

**COMPARATIVO ENTRE LAJES NERVURADAS UNIDIRECIONAIS E
LAJES PROTENDIDAS COM CORDOALHAS ENGRAXADAS**

TÍTULO DO TCC

Por

GIUSEPPE ROMANO CANALLI

LUCIANO REIS

LUIZ GUSTAVO MILARCK

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM GERENCIAMENTO E
EXECUÇÃO DE OBRAS, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO
FORMADA PELOS PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

Curitiba (PR) 06 de Dezembro de 2013.

Prof. Mauricio Bianchini, MSC

Prof.^a Patricia Ribeiro da Silva Brandão, MSC

Prof. Rogerio Lemos, MSC

RESUMO

A construção civil tem como base a transformação de ideias e pensamentos em inovações tecnológicas, novos empreendimentos e infraestrutura que possa melhorar a vida das pessoas. A comparação de sistemas construtivos diferentes possibilita um melhor entendimento no que se refere a qual sistema é mais adequado para cada tipo de obra. O solo, meio ambiente, temperatura, cultura financeira, pesquisas mercadológicas, tudo influencia no que se diz respeito à construção de novos empreendimentos. Através da coleta de dados da Obra Alexandre Caron em Curitiba-PR, obra de alto padrão com lajes protendidas e da Obra Royal Palace em Esteio-RS, obra de alto padrão com lajes nervuradas, nosso trabalho visa, através do estudo comparativo entre estas duas obras com sistemas construtivos distintos, a criação de indicadores que possam facilitar o entendimento de qual dos sistemas é mais viável economicamente no que se refere a insumo / m² de obra analisando insumos , armadura, concreto entre outros.

Palavras chave: Laje nervurada, laje protendida, sistemas construtivos, construção civil e indicadores.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Grande São Paulo – MASP (en. Wikipedia.org/MASP).....	18
Figura 2. Concretagem com concreto auto adensável (Obra Alexandre Caron, 2013).....	22
Figura 3. Stressing Anchorage of Weidatabridge (STORFIX, 2005).....	25
Figura 4. Seção da monocordoalha (EMERICK ANOZÉ , 2002).....	27
Figura 5. Ancoragem ativa para monocordoalhas engraxadas (Freyssinet de Lajes Protendidas – Catálogo Técnico).....	28
Figura 6. Detalhe dos elementos da ancoragem ativa (Protende – Catálogo Técnico).....	29
Figura 7. Esquema típico de montagem de uma laje lisa com monocordoalhas (Revista Técnica – Janeiro 1997)	30
Figura 8. Comparativo Custo x Vão Laje – Convencional e Protendida (Sistema Freyssinet de Lajes Protendidas – Catálogo Técnico).....	32
Figura 9. Vigotas pré-moldadas (FERREIRA, 1999)	34
Figura 10. Vigota comum (NBR 14859-1/04)	35
Figura 11. Vigota protendida (NBR 14859-1/02).....	35
Figura 12. Vigota Treliçada (NRB 14859-1/02).....	36
Figura 13. Perspectiva Royal Palace (Arquivo pessoal).....	38
Figura 14. Sistema Construtivo, pilares (Ed. Royal Palace).....	39
Figura 15. Sistema Construtivo, laje nervurada (Ed. Royal Palace).....	39
Figura 16. Escoramento Metálico (Ed. Royal Palace).....	40
Figura 17. Perspectiva Alexandre Caron (Arquivo pessoal).....	41
Figura 18. Sistema Construtivo, pilares (Ed. Alexandre Caron).....	41
Figura 19. Sistema Construtivo, laje protendida (Ed. Alexandre Caron).....	42
Figura 20. Escoramento Metálico (Ed. Alexandre Caron).....	42
Figura 21. Laje Protendida (Ed. Alexandre Caron).....	43
Figura 22. Gráfico comparativo de área de formas	48

Figura 23. Gráfico comparativo de volume de concreto	49
Figura 24. Gráfico comparativo taxa de Armadura.....	50
Figura 25. Gráfico comparativo valor mão de obra	51
Figura 26. Gráfico comparativo de custo / m ² de laje	52
Figura 27. Gráfico comparativo de Hora de serv. / m ² de laje e H/h	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Monocordoalhas engraxadas de 7 fio.....	28
Tabela 02: Dimensões para as ancoragens ativas.....	28
Tabela 03: Valores e Quantidades de Forma.....	44
Tabela 04: Valores e Quantidades de Concreto.....	44
Tabela 05: Valores e Quantidades de Aço.....	44
Tabela 06: Valores e Quantidades de Escoramento.....	45
Tabela 07: Valores e Quantidades dos demais itens.....	45
Tabela 08: Valores e Quantidades de Forma.....	46
Tabela 09: Valores e Quantidades de Concreto.....	46
Tabela 10: Valores e Quantidades de Aço.....	47
Tabela 11: Valores e Quantidades de Escoramento.....	47
Tabela 12: Valores e Quantidades dos demais itens.....	47
Tabela 13: Área de forma/m ² de laje	48
Tabela 14: Volume de Concreto (m ³)/m ² de laje.....	49
Tabela 15: Taxa de Armadura (kg) / m ² de laje.....	50
Tabela 16: Percentual de mão-de-obra / m ² de laje.....	51
Tabela 17: Custo total da obra / m ² de laje.....	52
Tabela 18: Percentual de horas trabalhadas/ m ² de laje	53

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	5
RESUMO	7
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	8
LISTA DE TABELAS	10
SUMÁRIO.....	11
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	12
1.2. OBJETIVOS.....	12
1.2.1. Objetivo Geral	12
1.3. JUSTIFICATIVAS	12
1.3.1. Tecnológicas.....	12
1.3.2. Econômicas	13
1.3.3. Sociais	14
1.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	14
1.4.1. Materiais e Procedimentos	14
1.4.2. Metodologia	15
1.4.3. Indicadores unitários para análise:	16
1.4.4. Apresentação do trabalho	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL	18
2.2. CONCRETO AUTO ADENSÁVEL – CONSIDERAÇÕES INICIAIS	
19	
2.2.1. Aplicações do CAA.....	20
2.2.2. Vantagens e Desvantagens	22

2.3. LAJES PROTENDIDAS COM CORDOALHAS NÃO ADERENTES	
24	
2.3.1. Considerações Normativas	26
2.3.2. Protensão não aderente	27
2.3.3. Vantagens das lajes protendidas com cordoalhas engraxadas. ..	30
2.3 LAJE NERVURADA COM PROTENSÃO	33
2.3.1 Vigotas	35
3. ESTUDO DE CASO – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS	
38	
3.1. CARACTERÍSTICAS DAS OBRAS ANALISADAS	38
3.1.1. Apresentação: Obra de laje nervurada unidirecional:	38
3.1.2. Apresentação: Obra de laje maciça protendida:	41
3.2. DADOS:	44
3.2.1. Obra Alexandre Caron:	44
3.2.2. Obra Royal Palace:	46
4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	48
4.1. FORMAS:	48
4.2. CONCRETO	49
4.3. ARMADURA.....	50
4.4. MÃO DE OBRA	51
4.5. CUSTO TOTAL.....	52
4.6. TEMPO	53
5. RECOMENDAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	55
5.1. RECOMENDAÇÕES FINAIS	55
5.2. CONCLUSÃO	56
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
MEMORIAL DE CALCULO.....	61
3.1.1 Obra Alexandre Caron:	61
3.1.2 Obra Royal Palace:	68
ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	74

1. INTRODUÇÃO

Diariamente se percebe que a competitividade entre as empresas da construção civil tem aumentado, diante disso, oferecer alternativas construtivas que permitam uma maior eficiência, flexibilidade, rapidez e redução de custos torna-se essencial. Com o grande avanço na área de tecnologia e informática, as análises complexas antes verificadas através de cálculos manuais, têm se tornado muito mais produtivas, sendo fundamentais para o engenheiro que opera com estruturas .

Segundo Albuquerque (Albuquerque, A. T., 1999), evolução do processo construtivo se inicia pela qualidade dos projetos e, entre os projetos elaborados para a construção civil, destaca-se o estrutural. A estrutura de uma edificação, individualmente, corresponde pela etapa de maior representatividade no custo total da construção e em muitos casos chega a 20% do custo total da obra. Segundo estudo feito pela UFSCAR (Universidade Federal de São Carlos), uma redução de 10% no custo da estrutura pode representar uma diminuição de 2% no custo total de uma edificação. Em termos práticos, 2% do custo total correspondem à execução de toda etapa de pintura da obra.

Com o passar dos anos, por uma questão de novos métodos construtivos, surgiram novos sistemas estruturais, tais como lajes nervuradas, alveolares, protendidas, pré-moldadas entre outras. Devido ao grande número de sistemas estruturais encontrados atualmente no mercado da construção civil, os profissionais precisam optar por um determinado tipo. Porém em muitos casos, a escolha adotada não se adapta às condições específicas do empreendimento visto que cada obra possui características arquitetônicas particulares desta maneira, não se pode definir um modelo padrão de sistema estrutural.

O presente trabalho através do estudo de caso comparativo entre duas obras e dois sistemas construtivos diferentes, a primeira localizada em Curitiba-PR

utiliza da técnica de lajes protendidas enquanto a segunda em Canoas- RS usa como sistema construtivo lajes nervuradas unidirecionais.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Comparando os sistemas construtivos de uma laje executada com concreto protendido e uma laje nervurada unidirecional, qual apresenta maior vantagem econômica?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. **Objetivo Geral**

Determinar através da comparação dos resultados obtidos qual sistema estrutural apresenta o menor custo de produção.

1.3. JUSTIFICATIVAS

1.3.1. **Tecnológicas**

O setor da construção civil é um meio onde a atualização é uma constante. Os materiais, as técnicas e os processos de construção de edifícios têm evoluído de forma acentuada nos últimos tempos, requerendo cada vez mais conhecimentos multidisciplinares por parte dos engenheiros, arquitetos, pedreiros, serventes e os construtores em geral.

O estudo de modelos construtivos diferentes pode proporcionar discussões de novas tecnologias no âmbito da construção civil. À medida que estas inovações tecnológicas são aplicadas em novos empreendimentos pode-se ter parâmetro do quão eficaz e aplicáveis são estas tecnologias na construção.

O Brasil possui diversos meios de informação onde se podem consultar novos avanços tecnológicos, segundo a Construbusiness (edição de setembro/2013), estas novas tecnologias tendem a crescer gradativamente ao longo dos anos o maior problema está em saber se a produtividade dos colaboradores da construção civil vai crescer na mesma produção das tecnologias.

1.3.2. Econômicas

De acordo com os dados do Produto Interno Bruto, divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística a Construção Civil, cresceu 1,4% em 2012. Vale lembrar que, em 2011, enquanto PIB do Brasil cresceu 7,5%, o da construção registrou incremento de 11,6%. Já em 2011, segundo o IBGE, a alta para o conjunto de atividades do país foi de 2,7% e para o setor foi de 3,6%. Por fim, em 2012, enquanto o País apresentou expansão de 0,9% a Construção Civil cresceu 1,4%. O resultado da Construção foi o segundo melhor da indústria, ficando atrás do setor de produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana (3,6%). A construção civil é uma das forças motrizes do nosso país, impulsionando de forma agressiva o PIB do Brasil. Dado o volume de negócios na construção civil, a busca por sistemas que propiciem reduções de custo, pode gerar altos ganhos ao setor e/ou redução no valor de venda de edificações.

1.3.3. Sociais

A sociedade brasileira é influenciada fortemente pela construção civil sejam através da infraestrutura, empreendimentos imobiliários, hotéis entre outros. Segundo a Câmara Brasileira da Indústria da Construção, até o ano de 2008 o Brasil possuía um déficit habitacional de 5.546.310 unidades este número reduziu 7,98% com relação ao ano anterior. Com incentivos dentro do programa minha casa minha vida e com o PAC produzidos pelo governo, este número já deve estar reduzido nos dias de hoje tende a reduzir à medida que evoluímos com a construção civil.

1.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho consiste na coleta de informações referente à produtividade, sistemas construtivos, indicadores de mão de obra e material de duas obras distintas para através da comparação destes valores, concluir qual sistema construtivo apresenta maiores vantagens econômicas.

1.4.1. Materiais e Procedimentos

As medições de produtividade foram realizadas pelos engenheiros responsáveis de cada obra e alguns auxiliares relacionados com a engenharia, seguindo metodologia adequada. A escolha dos materiais empregados foi feita cautelosamente com estudos de execução para cada método construtivo.

Abaixo são apresentados os equipamentos utilizados para medições.

- Projetos digitalizados para quantificar cada tarefa e elaborar cronograma
- Trena, prancheta e tempo para efetuar a medição em obra.
- Quantificação de pessoal e materiais utilizados.
- Análise de dias trabalhados de acordo com intempéries, as cidades das duas obras (Curitiba-PR e Canoas-RS) tem grandes variações meteorológicas em curtos períodos de tempo.

1.4.2. Metodologia

A metodologia seguiu roteiro de um estudo de caso onde foram feitas medições repetidas de produtividade e análises de custos.

As etapas das obras foram analisadas e medidas durante um longo período, onde foi possível avaliar o tempo de cada tarefa, as suas dificuldades, e posteriormente os custos.

Também será explanado o uso do concreto auto adensável (concreto mais comumente visto em obras com lajes protendidas) visto que o mesmo está presente na obra Alexandre Caron – Curitiba.

Foi executada uma análise do tempo de produção de cada obra, com seus métodos construtivos diferentes, mas sempre avaliando a produção, com suas dificuldades, materiais empregados, mão de obra especializada e custos.

Avaliou-se as vantagens físico-financeiras entre os sistemas construtivos com laje nervurada unidirecional e laje protendida com cordoalhas engraxadas, analisando somente as lajes tipos comparando o processo construtivo, a estrutura utilizada, a área de formas, o volume de aço, volume de concreto, escoramento, outros insumos e mão de obra. Utilizaram-se os indicadores de Curitiba, pois este é o ponto de referência para comparação de custos e produtividade entre as obras. Por se tratarem de obras diferentes e bem específicas, produzimos indicadores

unitários que possam servir de parâmetro de comparação entre as duas obras e que sirvam também como base para outros trabalhos e pesquisas. Foi utilizado o método de comparação através de custos unitários a fim de facilitar a análise dos resultados tendo como parâmetro todos os indicadores / m² de obra da mesma maneira, utilizaram-se os valores de Curitiba para que não houvesse grande distorção nos indicadores pelo fato de as obras estarem em duas regiões distintas.

No presente trabalho não é comparado o fechamento em alvenaria de vedação, instalações elétricas, instalações hidráulicas, revestimentos, esquadrias, fundação e outros itens comuns entre as obras. No caso da fundação, acredita-se que a obra de laje protendida com cordoalhas engraxadas teria uma fundação mais econômica devido a menor densidade de pilares, mas como os solos são muito distintos não se podem elaborar indicadores suficientes para comparação.

1.4.3. Indicadores unitários para análise:

- Metro cúbico de concreto com suas características por metro quadrado de obra.
- Quilos de aço por metro quadrado de obra.
- Área de forma por metro quadrado de obra.
- Tempo de execução por metro quadrado de obra.
- Homens por hora de acordo com o sistema construtivo.
- Custo total por metro quadrado de obra.

1.4.4. Apresentação do trabalho

O trabalho realizado caracterizou-se por ser de caráter observacional, prático e analítico, tendo como princípio o estudo de caso.

Embora ainda prevaleçam preconceitos em relação a este tipo de pesquisa com o principal motivo sendo a impossibilidade de fazer-se generalização dos dados, é bom que se estenda que o objetivo da realização do estudo de caso não é fazer uma generalização estatística, mas expandir teorias (YIN, 2005).

Para Gil (1991), o estudo de caso possui vantagens que o colocam como o procedimento mais adequado em várias situações, sendo as principais apresentadas abaixo:

- estímulo às novas descobertas, que pode levar o pesquisador a alterar seu plano inicial por despertar interesses em outros aspectos;
- ênfase na totalidade – o problema é focalizado como um todo, sob vários aspectos;
- simplicidade nos procedimentos – a coleta e a análise dos dados são consideradas simples, se comparadas com outros procedimentos.

Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico para a fundamentação teórica e após a análise dos dados coletados em campo, utilizando-se metodologia escolhida.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONSTRUÇÃO CIVIL NO BRASIL

“Estudando a evolução das construções na civilização ocidental, sob o ponto de vista das lajes, percebe-se que o homem precisou de milhares de anos para criar pisos acima do solo” (STRAMANDINOLI, 2003).

O caminhar da construção civil ao longo da história dá-se na perspectiva de mudança de tendências em vários modelos de obras (ver figura 1). O fluxo de obras residenciais e comerciais aumentou na última década tendo em vista a grande necessidade de expansão econômica e social nos grandes centros urbanos (CBIC, 2009).



Figura 01: Grande São Paulo – MASP

Existem várias tecnologias e métodos na construção civil, estes podem variar conforme a cultura construtiva, economia, meio ambiente, marketing entre outros. Atualmente, pode-se verificar que grande parte das escolhas referentes a

modelos construtivos se enquadra no âmbito econômico, qualquer tipo de economia já é lucro dentro de um investimento de grande porte. Esta economia pode ser no fluxo de entrada e saída de materiais de uma obra, produtividade de funcionários próprios e terceirizados, modelos construtivos diferentes, projetos compatibilizados entre outros.

Segundo a ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland, revista online 2009), os modelos construtivos ampliam o andamento da indústria da construção civil num país. No Brasil, pode-se perceber uma vasta gama de diferentes métodos construtivos, por exemplo, em uma cidade como Curitiba vemos construções em alvenaria convencional, alvenaria estrutural, lajes alveolares, protendidas, convencionais, revestimentos internos e externos das mais variadas formas. Tudo para proporcionar a melhor solução para cada tipo de empreendimento.

Na construção civil, custo é o montante financeiro proveniente de gastos com bens, serviços e transações financeiras, necessárias à execução de um empreendimento, desde a etapa de estudo de viabilização até a sua utilização, durante um prazo pré-estabelecido. A economia de um determinado montante financeiro em uma obra pode ser proveniente da escolha adequada de um sistema construtivo ideal (ANDRADE apud SOUZA, 2003). Desta maneira, podemos afirmar que os sistemas construtivos, de modo generalizado, podem influenciar diretamente o valor final por metro quadrado do empreendimento tendo em vista o fato de que uma solução específica construtiva para cada obra pode gerar economia no valor global do empreendimento.

2.2. CONCRETO AUTO ADENSÁVEL – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A obra Alexandre Caron – Curitiba, apresenta o uso de concreto auto adensável pois suas lajes são protendidas. O concreto auto adensável (CAA) foi proposto pelo professor Hajime Okamura, da Kochi University of Technology, em 1986 no Japão. Neste país, problemas de durabilidade das estruturas em

concreto vinham se agravando continuamente, devido à redução do número de trabalhadores da construção civil qualificados para a execução de elementos estruturais. A solução encontrada para o problema, então, foi a busca de um concreto especial – o concreto auto adensável (CAA) – capaz de apresentar boa durabilidade, independentemente das atividades de adensamento exercidas pelos trabalhadores no momento da concretagem (OKAMURA, 2000; OKAMURA e OUCHI, 2003).

O CAA consiste em um concreto com alta fluidez, capaz de preencher a fôrma onde é aplicado, compactando-se pela ação única de seu peso próprio e sem necessitar de qualquer tipo de vibração interna ou externa. Este concreto deve, ainda, ser capaz de sustentar os grãos do agregado graúdo, mantendo-os homogeneamente distribuídos no interior da mistura, quando o concreto flui através de obstáculos – como as barras de armaduras – e também quando o concreto encontra-se em repouso (OKAMURA, 1997; GETTU e AGULLÓ, 2003; EFNARC, 2005).

Dessa forma, o CAA deve apresentar, basicamente, três propriedades que são essenciais a este tipo de concreto, no estado fresco, e que não competem ao concreto convencional (RILEM, 2006):

- Habilidade de preenchimento: preencher a fôrma onde é aplicado e se auto- compactar, sem vibração, mantendo-se homogêneo;
- Habilidade de passagem: passar através de obstáculos, como as barras de armaduras, sem apresentar bloqueio de partículas de agregados;
- Resistência à segregação ou estabilidade: manter-se homogêneo durante a mistura, o transporte e a aplicação.

2.2.1. Aplicações do CAA

Relatos de OKAMURA, (2000) indicam que o primeiro protótipo de CAA

foi desenvolvido no ano de 1988 utilizando materiais usualmente aplicados em concretos convencionais, tendo apresentado bons resultados de desempenho. Após isso, os estudos acerca do novo tipo de concreto cresceram em todo o mundo, desde instituições de ensino e pesquisa até grandes companhias construtoras, de modo que o CAA vem sendo cada vez mais utilizado.

No Japão, teve-se a primeira aplicação do CAA em obra, em junho de 1990; seguida pela aplicação do concreto nas torres da ponte Shin-kiba Ohashi, em 1991. Após esse período, não somente no Japão como em todo o mundo, o CAA passou a ser utilizado largamente, em diversas situações: pontes, edifícios, túneis, elementos estruturais pré-moldados, tanques e produtos de concreto em geral. OKAMURA, (2000)

Estudos sobre CAA vêm sendo desenvolvidos desde 1992, no Canadá, com aplicação voltada especialmente para pavimentação e reparos. Em Taiwan, investigações vêm ocorrendo desde 1994, com diversas aplicações estruturais já realizadas. Nos Países Baixos, o CAA foi aplicado em uma edificação em 1997, que resultou na formação de um grupo de pesquisa com objetivo de estudar aplicação deste material em produtos de concreto. Na Suécia, em 1998 foram realizadas aplicações bem sucedidas do material em pontes, com planejamento de uso do CAA em edificações residenciais. Além destas, se tem relatos da investigação acerca do CAA em países como EUA, Áustria, Reino Unido, França, Tailândia, entre outros (OKAMURA, 2000).

No Brasil, poucas obras foram realizadas com o CAA, acreditando-se que a esse fato deva-se à falta de estudos e adaptação da tecnologia à nossa realidade (TUTIKIAN, 2005). Porém, essa situação vem mudando com o passar do tempo, de modo que diversas instituições de ensino e pesquisa, assim como grandes empresas construtoras, em todo o país vêm buscando conhecimento acerca do novo material, com o objetivo de introduzir este tipo de concreto no mercado brasileiro.

2.2.2. Vantagens e Desvantagens

O crescente interesse acerca do CAA e o aumento contínuo dos estudos e aplicações do material em todo o mundo são justificados pelos inúmeros benefícios apresentados quando da aplicação deste concreto em obras. Algumas das vantagens advindas da aplicação do CAA são apresentadas a seguir, e foram descritas por diversos autores, entre os quais se destacam: OKAMURA (2000), GETTU e AGULLÓ (2003), EFNARC (2005).

Dentre as vantagens, um grande destaque deve ser dado ao fato de que o uso de CAA garante excelente compactação do material no estado fresco, mesmo em áreas densamente armadas, evitando-se, assim, a presença de nichos no interior do elemento estrutural e garantindo excelente acabamento ao concreto. Essa situação permite a produção de uma estrutura mais durável.

A eliminação da etapa de vibração do concreto resulta, também, em uma importante vantagem, pois com a eliminação do ruído causado pelo vibrador, há uma melhora na qualidade do ambiente de trabalho, uma vez que os trabalhadores deixam de estar expostos a taxas de ruídos elevadas. Além disso, esse fato favorece ainda a concretagem em áreas urbanas, onde os ruídos em muitas situações são limitantes à construção (OKAMURA 2000).

Uma terceira consequência benéfica da elevada fluidez é a possível diminuição da equipe de trabalho, uma vez que não é necessária a presença de muitas pessoas no canteiro de obras para realização das atividades de lançamento e espalhamento do concreto, que se auto compacta. Por fim, a eliminação de uma etapa na produção da edificação – vibração – permite reduzir o tempo de construção, o que pode ser responsável por uma diminuição no custo global da obra GETTU e AGULLÓ (2003), como ilustrada na figura 02.



Figura 02: Concretagem com concreto auto adensável. Fonte: Edifício Alexandre Caron, 2013.

Porém, de acordo com OKAMURA *et. al.* (2000) a produção de CAA exige uma diminuição na quantidade de agregado gráúdo presente no concreto, e aumento da quantidade de finos, podendo ser estes cimento ou adições minerais. Com isso, faz-se necessário cuidado extra durante a cura do CAA, para se evitar ocorrência de fissuras por retração do concreto no momento da pega e endurecimento.

Uma outra desvantagem do CAA é o custo elevado do material quando considerado o metro cúbico do concreto, tanto devido ao aumento na quantidade de cimento para se obter auto-adensabilidade, quanto à necessidade de uso de aditivos químicos. Embora haja redução do custo global da obra, este ainda é um fator limitante da utilização do CAA em obras EFNARC (2005).

Diante do apresentado, acredita-se que as vantagens advindas da utilização do CAA são suficientes para superação das possíveis desvantagens que podem ocorrer. Além disso, verifica-se que os aspectos negativos citados podem ser

controlados, e até eliminados desde que cuidados especiais sejam observados.

2.3. LAJES PROTENDIDAS COM CORDOALHAS NÃO ADERENTES

Segundo Pereira (2000), o pioneirismo das experiências com concreto protendido, as percussoras foram feitas pelo engenheiro Eugene Freyssinet, na França em 1928, com a introdução de aço duro em forma de arames trefilados, para realizar a protensão em uma estrutura. Entretanto, na Alemanha as primeiras aplicações práticas dos fios de aço duro, foram feitas por Hoyer, através do sistema Hoyer (como ficou conhecido), que consistia em esticar os fios com o auxílio de dois apoios independentes e que, após o endurecimento do concreto, cortavam-se os fios, que posteriormente ancoravam-se na peça por aderência.

Porém Almeida Filho (2002) menciona que o início dos trabalhos em concreto protendido data de meados do ano de 1872, quando PH. Jackson, Engenheiro do estado da Califórnia, EUA, patenteou um sistema o qual utilizou um tirante de união para construir vigas ou arcos com blocos isolados. Em 1888, na Alemanha, C. W. Doering obteve a patente para lajes protendidas com fios metálicos, entretanto tais experimentos não tiveram êxito devido às perdas de Protensão com o passar do tempo.

Em 1934, Dichinger desenvolve a utilização de Protensão externa sem aderência e dois anos mais tarde construiu a primeira obra de concreto protendido que se tem conhecimento, foi à ponte de Ave, na Alemanha (Pereira 2000).

Na Europa, após já na década de 40 Freyssinet, na França, doze anos após seu primeiro experimento que se tem conhecimento, propõe métodos para se estimar as perdas de protensão no uso de aços de alta resistência e alta ductilidade, propostas estas que o levaram a desenvolver o sistema Freyssinet, anos mais

tarde como ficou conhecido, tal sistema que consistia na ancoragem em cunha cônica de 12 cabos. A partir daí, o emprego corrente de concreto protendido tornou-se possível, principalmente com o lançamento de ancoragens e equipamentos especializados para protensão.

No Brasil a primeira obra em concreto protendido, foi à ponte do Galeão, no Rio de Janeiro em 1948, em vigas pré-moldadas, utilizando o sistema Freyssinet, de Protensão não aderente, sendo na época a maior ponte em concreto protendido no mundo com 380 metros de comprimento. Foi uma das primeiras realizações patente Freyssinet no mundo, tendo o próprio Eugene Freyssinet como consultor técnico. Conforme a figura 03, exemplo de ancoragem com cunhas de aço do Sistema Freyssinet. (ALMEIDA FILHO, 2002)



Figura 03: Fonte: Störfix. (2005), Stressing anchorage of Weidatalbridge.

A partir da década de 50, vários processos de protensão e ancoragem foram desenvolvidos e já na década de 70 firmou-se a preferência pela utilização das cordoalhas ancoradas individualmente por meio de cunhas.

Na atualidade o concreto protendido não se restringe apenas para obras de transposição como pontes e viadutos como acontecia nos seus primórdios, essa

tecnologia é muito utilizados em estruturas de edifícios, principalmente em lajes e vigas, seja para vencer grandes vãos, com também permitir o uso de estruturas cada vez mais arrojadas e combinações livres entre materiais.

A utilização de protensão não aderente vem sendo feita de uma maneira modesta, talvez devido ao conceito do concreto protendido possivelmente ter custo mais elevado, o que é um conceito falho, pois a protensão com mono cordoalha (protensão não-aderente) constitui um sistema altamente competitivo para com o concreto armado convencional. (ALMEIDA FILHO, 2002)

A maior utilização deste sistema até hoje se dá na região Nordeste, onde se utiliza desde a construção de pavimentos protendidos, até a construção de fundações tipo radier, tanto para pequenos domicílios quanto edificações obra de médio e grande porte.

2.3.1. Considerações Normativas

De acordo com a Norma Brasileira NBR-7197/1989 – Projeto de Obras de Concreto Protendido definem-se:

a) Peça de concreto protendido : É aquela que é após ser sido submetida a um sistema de forças especialmente e permanentemente aplicadas chamadas forças de protensão e tais que, em condições de utilização, quando agirem simultaneamente com as demais ações, impeçam ou limitem a fissuração do concreto.

b) Armadura de protensão ou armadura ativa: Esta é constituída por fios ou barras, feixes (barras ou fios paralelos) ou cordões (fios enrolados), e se destina à produção das forças de protensão.

c) Concreto protendido com aderência inicial: Neste processo o estiramento da armadura de protensão é executado utilizando-se apoios

independentes da peça, antes do lançamento do concreto, sendo a ligação armadura de protensão com os apoios desfeitos após o endurecimento do concreto. A ancoragem no concreto realiza-se só por aderência.

d) Concreto protendido com aderência posterior: Quando o estiramento da armadura de protensão é executado após o endurecimento do concreto, utilizando-se como apoios, partes da própria peça, criando-se posteriormente aderência com o concreto de modo permanente.

e) Concreto protendido sem aderência: É aquele obtido como no caso anterior, porém após o estiramento da armadura de protensão, não é criada a aderência com o concreto. Sistema de Freyssinet.

2.3.2. Protensão não aderente

O sistema de protensão não aderente é feito com cordoalhas engraxadas plastificadas. De acordo com o catálogo técnico da Belgo, as cordoalhas engraxadas são as mesmas cordoalhas tradicionais com a adição de um revestimento de PEAD-polietileno de alta densidade, impermeável à água, extremamente resistente e durável, extrudado diretamente sobre a cordoalha já engraxada em toda a sua extensão, o que permite a livre movimentação da cordoalha em seu interior, Figura 04. A graxa e o revestimento de PEAD devem atender as especificações do PTI (Post-tensioning Institute). As bitolas disponíveis são de 12,7mm e 15,2mm com a massa aproximada (incluindo PEAD e graxa) de 890 kg/km e 1240 kg/km, (EMERICK ANOZÉ , 2002).

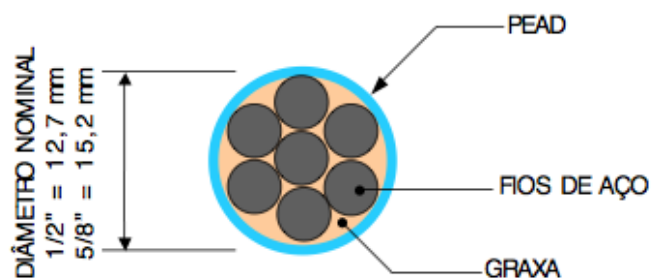


Figura 04: Seção da monocordoalha engraxada com 7 fios (EMERICK ANOZÉ, 2002)

Nesse sistema, deve ser dada especial atenção a conservação das cordoalhas, elas devem estar limpas e livres de corrosão. Rasgos ou falhas da cobertura de PEAD devem ser reparadas antes do lançamento do concreto com fita plástica para isolar a cordoalhas do concreto (EMERICK ANOZÉ, 2002).

A Tabela 01 apresenta as características para monocordoalhas engraxadas com aço CP 190 RB

Tipo de cordoalha	Ø12,7mm (1/2")	Ø15,2mm (3/8")
Área mínima (mm ²)	98,7	140,0
Área aproximada (mm ²)	101,4	143,5
Peso linear com bainha e graxa (kg/m)	0,89	1,24
Carga de ruptura – f_{ptk} (kN)	187,3	265,8
Módulo de elasticidade (GPa)	Aproximadamente 196	
Alongamento após a ruptura	3,5 %	
Ø cordoalha + bainha (mm)	15,4	18,1

Tabela 01: Monocordoalhas engraxadas de 7 fios – Aço CP190RB - Catálogo Técnico

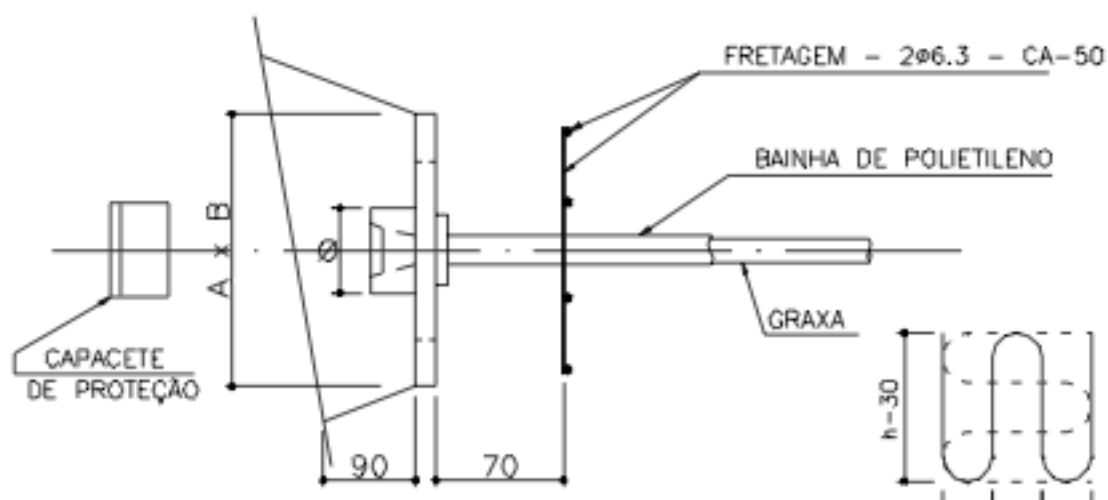
A Tabela 02 e a Figura 05 apresentam as características das ancoragens para monocordoalhas engraxadas do sistema Freyssinet.

Tabela 02: Dimensões para as ancoragens ativas.

Tipo	Ø bloco (mm)	A × B (mm)
1 Ø12,7	45	100 × 100
1 Ø15,2	52	100 × 100

Fonte: Sistema Freyssinet de Lajes Protendidas – Catálogo Técnico

Figura 05: Ancoragem ativa para monocordoalhas engraxadas Fonte: Sistema Freyssinet de Lajes Protendidas – Catálogo Técnico



A Figura 06 apresenta um detalhe da ancoragem ativa para monocordoalhas engraxadas.

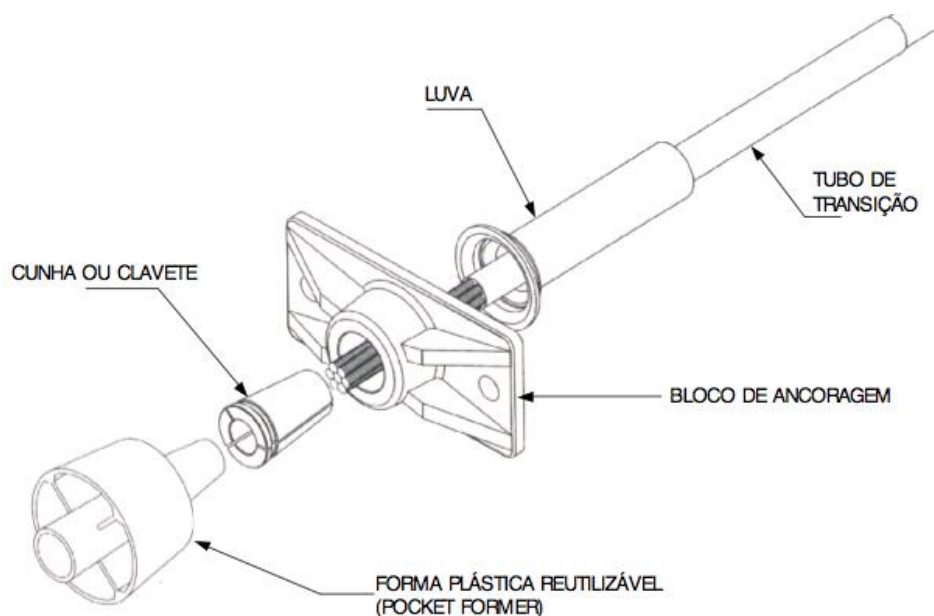


Figura 06: Detalhe dos elementos da ancoragem ativa. Fonte: Protende – Catálogo Técnico.

A Figura 07 apresenta um esquema típico de montagem de uma laje lisa com monocordoalhas engraxadas.

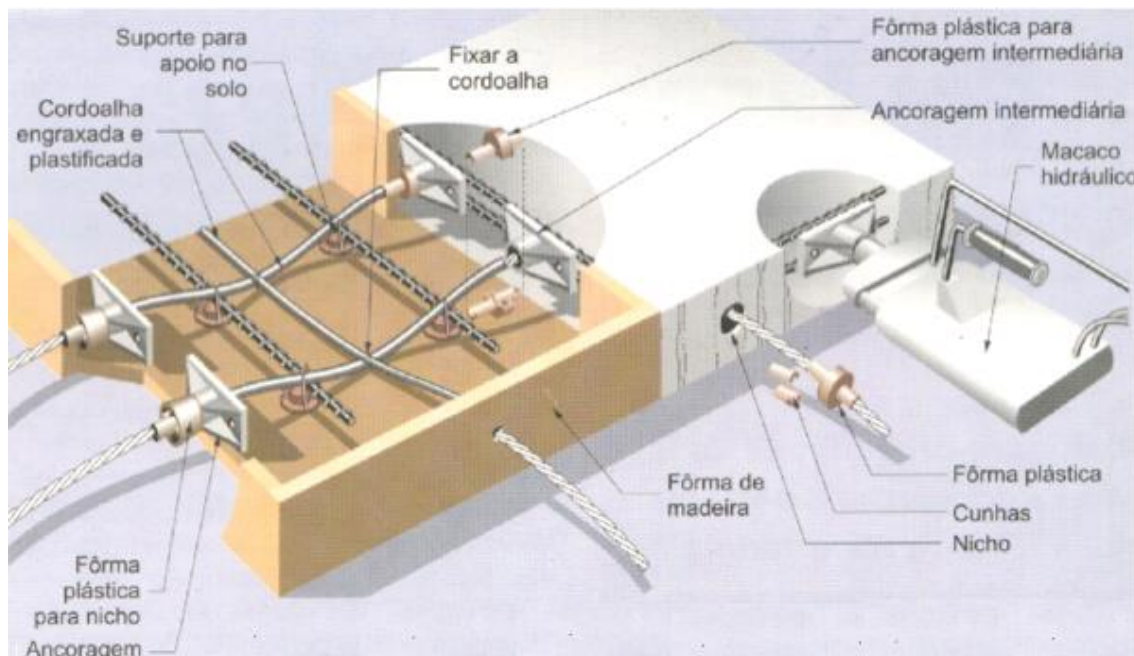


Figura 07: Esquema típico de montagem de uma laje lisa com monocordoalhas.

Fonte: Revista Técnica – Janeiro 1997.

2.3.3. Vantagens das lajes protendidas com cordoalhas engraxadas.

Segundo Loureiro (2006) as vantagens estruturais são:

- Com relação à esbeltez (L/h), estas lajes são capazes de vencer grandes vãos utilizando pequenas espessuras e apresentando fissuração e flechas reduzidas.

- O uso de materiais de alta resistência, cordoalhas CP 190 RB e concretos com f_{ck} maior ou igual a 30 MPa e, portanto, com maior módulo de elasticidade, contribui, também, para um melhor desempenho em serviço e maior resistência no estado limite último.

- O fato de as ancoragens serem individuais, uma para cada cordoalha, minimiza as tensões concentradas nas regiões de introdução da força de protensão, diminuindo as armaduras de fretagem.

- Com o uso da cordoalha engraxada obtém-se uma maior excentricidade do cabo, em função do seu pequeno diâmetro, que é de, aproximadamente, 16 mm, o que resulta numa maior eficiência da protensão, uma vez que a carga balanceada é diretamente proporcional à flecha do cabo.

- É importante notar que as lajes protendidas passam por um grande teste no ato da protensão: a cordoalha está submetida a uma tensão máxima de tração, normalmente, 80% da sua tensão de ruptura e a força de compressão no concreto na região das ancoragens também é máxima, quando a resistência do concreto ainda é da ordem de 65% de sua resistência última. Logo após a transferência da força de protensão, existe uma perda devido a acomodação nas ancoragens e, neste ponto, a tensão no cabo cai para 70% de f_{pu} .

Segundo Loureiro (2006) as vantagens construtivas são:

- As lajes protendidas sem vigas permitem o uso de pés-direitos menores, resultando numa menor altura total do edifício, ou num maior número de pavimentos.

- É comum nos estacionamentos de shopping centers o uso de pés direito de 2,50 m, visando diminuir as escavações dos subsolos e o comprimento das rampas de acesso.

- Nos edifícios residenciais e comerciais o uso de lajes lisas protendidas permite grande flexibilização na utilização dos espaços e o menor número de pilares pode aumentar as vagas de garagem.

- A simplicidade de execução da fôrma plana, a facilidade de fixação das ancoragens individuais e de baixo peso, bem como, a agilidade no manuseio das mono-cordoalhas engraxadas e plastificadas, que dispensam o uso de bainhas

e evitam a operação de injeção, resultam numa maior rapidez de execução da estrutura. Além disso, a operação de protensão é simples e rápida, pois utiliza macacos leves.

Segundo Loureiro (2006) as vantagens econômicas são:

- Para vãos a partir de 7.00 m, a laje lisa protendida com cordoalhas engraxadas já é uma alternativa estrutural competitiva com a solução convencional de lajes de concreto armado apoiadas em vigas, principalmente se forem levadas em conta as diversas vantagens enumeradas anteriormente, conforme ilustra a figura 08.

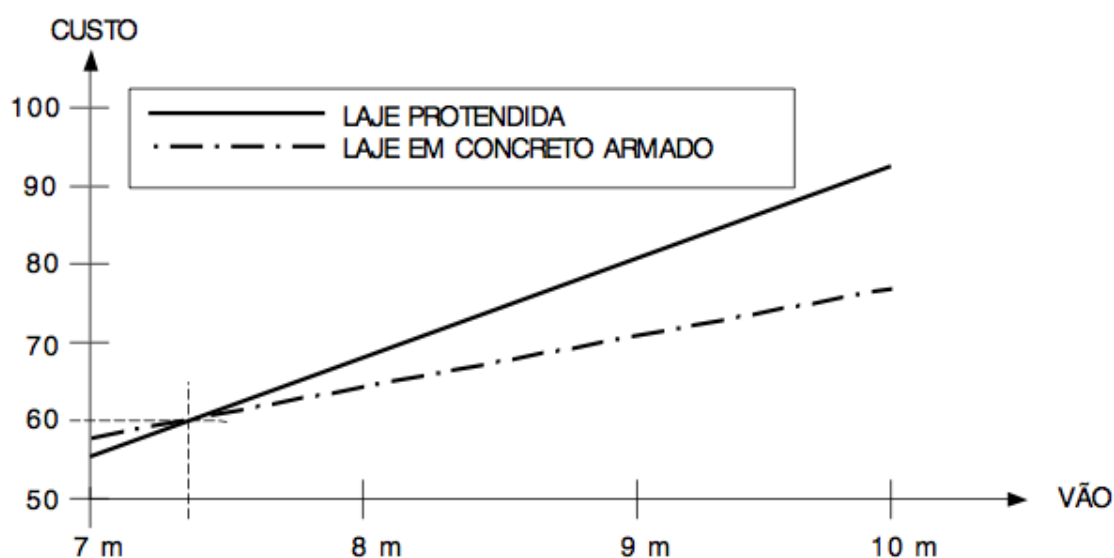


Figura 08: Fonte: Sistema Freyssinet de Lajes Protendidas – Catálogo Técnico

- Outro aspecto econômico a ser considerado é a durabilidade das lajes protendidas. Como normalmente se usa protensão limitada nas lajes lisas e cogumelos, ou seja, para a combinação frequente das ações é respeitado o ELS-F, praticamente não existem fissuras nessas lajes; junte-se a isso o fato de que os concretos utilizados são de maior resistência e que, também, são adotados maiores cobrimentos para as armaduras.

Com essas características, as lajes protendidas se tornam adequadas para os locais das classes de agressividade ambiental forte (marinha) e muito forte (respingos de maré), ou seja, CAA III e IV.

2.3 LAJE NERVURADA COM PROTENSÃO

Conforme o item 14.7.7 da NBR-6118:2003 as lajes nervuradas podem ser moldadas no local ou com nervuras pré-moldadas. A zona de tração (região abaixo da linha neutra) é constituída por nervuras dispostas em uma ou duas direções com espaçamentos regulares formando vazios entre si, sendo colocado, um material inerte para o preenchimento dos mesmos.

Esse item trata do sistema convencional com lajes nervuradas protendidas pré-moldadas. A utilização deste sistema na construção da região metropolitana e vale dos sinos do Rio Grande do Sul é crescente.

Segundo Albuquerque (1998, p.24), a vantagem principal do uso de lajes nervuradas é a redução do peso próprio da estrutura, já que o volume de concreto diminui, e ainda há um aumento na inércia, já que a laje tem sua altura aumentada. Dependendo da existência ou não do material de enchimento e da sua natureza, as lajes nervuradas também podem apresentar.

Além disso, Albuquerque & Pinheiro (1998, BOROWSKI, 2005) destaca como principais vantagens das lajes nervuradas:

- A facilidade de execução das fôrmas;
- A redução do número de vigas;
- A redução excessiva de madeiramento;

As nervuras deste tipo de laje nervurada são compostas de vigotas pré-moldadas (Figura 09), capazes de suportar seu peso próprio e as ações de construção, dispensando o uso do tabuleiro da fôrma tradicional e necessitando

apenas de cimbramentos intermediários. Além das vigotas, essas Lajes são construídas de elementos de enchimento, que são colocados sobre os elementos pré-moldados, e também de concreto moldado no local.

As lajes pré-moldadas surgem como um passo decisivo na industrialização do processo da construção civil. Segundo Borges (1997, ALBUQUERQUE, 1999), a pré-fabricação é um método industrial de construção no qual os elementos fabricados em série, por sistemas de produção em massa. São posteriormente montados em obras, tendo como principais vantagens a redução do tempo de construção, do peso da estrutura e, conseqüentemente, do custo final da obra. Pode-se ainda salientar como grande vantagem a ausência de fôrmas para as lajes.

Abaixo pode-se visualizar alguns modelos de vigotas pré-moldadas:

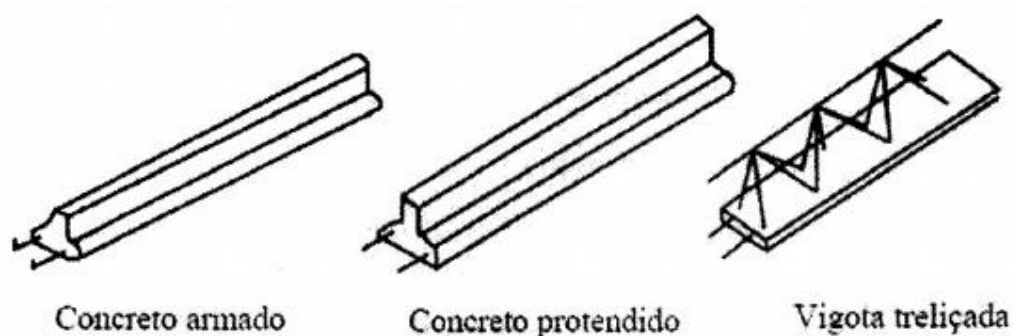


Figura 09: Vigotas pré-moldadas Fonte: FRANÇA & FUSCO, 1997 apud FERREIRA, 1999.

Conforme Vizotto (2002, AVILLA JR, et al., 2005), com a industrialização das armaduras treliçadas, dos blocos de EPS moldado e auto extingüível, e de fôrmas removíveis adaptadas a esse sistema, surge a laje nervurada com vigotas pré-fabricadas treliçadas, garantindo outras possibilidades de soluções e conservando as características de monoliticidade da estrutura.

2.3.1 Vigotas

Pela NBR 14859-1.2002, as vigotas pré-fabricadas são constituídas por concreto estrutural, executadas industrialmente fora do local de utilização definitivo da estrutura, ou mesmo em canteiro de obra sob-rigorosa condição de controle de qualidade. Englobam total ou parcialmente a armadura inferior de tração, integrando parcialmente a seção de concreto da nervura longitudinal.

Os tipos de vigotas utilizadas atualmente são os seguintes:

Vigotas de concreto armado comum (VC) não protendida: com seção transversal cuja forma é aproximada de um T invertido, com armadura passiva totalmente envolvida pelo concreto como pode ser visto na figura 10;

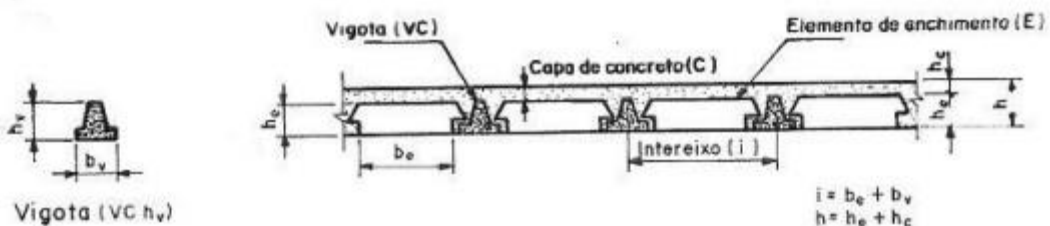


Figura 10: Vigota comum. Fonte: NBR 14859-1/04

Vigotas de concreto protendida (VP): com seção transversal, na forma aproximada de um T invertido, com armadura de proteção pré-tracionada é totalmente envolvida pelo concreto (verificar figura 11);

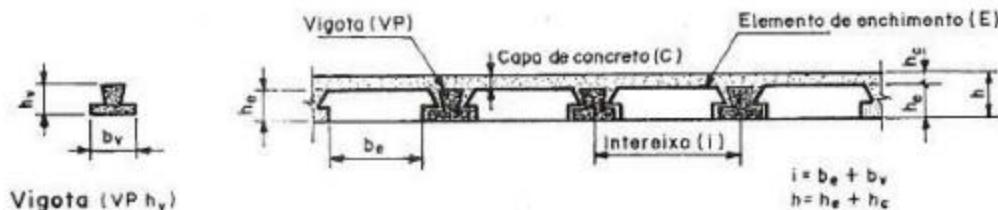


Figura 11: Vigota protendida. Fonte: NBR 14859-1/02.

Vigotas treliçadas (VT): formadas por uma armadura treliçada de aço e por uma placa de concreto, envolvendo as barras inferiores da treliça que irão com por a armadura da face tracionada da laje segue exemplo na figura 12 abaixo.

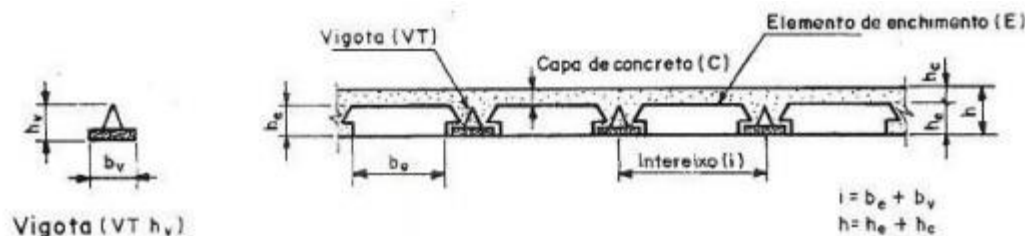


Figura 12: Vigota Treliçada. Fonte: NRB 14859-1/02

Pela NBR-14859-2002 item 5.4, as vigotas devem ter uma largura mínima que permita, quando montadas em conjunto com os elementos de enchimento, a execução das nervuras de concreto complementar com largura mínima equivalente de 4,0 cm de modo a atender ao disposto na NBR 6118.

De acordo com a Norma Brasileira NBR-7197/1989 – Projeto de Obras de Concreto Protendido definem-se:

a) Peça de concreto protendido: É aquela que é após ser sido submetida a um sistema de forças especialmente e permanentemente aplicadas chamadas forças de protensão e tais que, em condições de utilização, quando agirem simultaneamente com as demais ações, impeçam ou limitem a fissuração do concreto.

b) Armadura de protensão ou armadura ativa: Esta é constituída por fios ou barras, feixes (barras ou fios paralelos) ou cordões (fios enrolados), e se destina à produção das forças de protensão.

c) Concreto protendido com aderência inicial: Neste processo o estiramento da armadura de protensão é executado utilizando-se apoios independentes da

peça, antes do lançamento do concreto, sendo a ligação armadura de protensão com os apoios desfeitos após o endurecimento do concreto. A ancoragem no concreto realiza-se só por aderência.

d) Concreto protendido com aderência posterior: Quando o estiramento da armadura de protensão é executado após o endurecimento do concreto, utilizando-se como apoios, partes da própria peça, criando-se posteriormente aderência com o concreto de modo permanente.

e) Concreto protendido sem aderência: É aquele obtido como no caso anterior, porém após o estiramento da armadura de protensão, não é criada a aderência com o concreto. Sistema de Freyssinet.

3. ESTUDO DE CASO – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados relativos às comparações feitas no estudo de caso mostram as diferenças físicas e financeiras entre os métodos construtivos analisados, os resultados foram obtidos a partir de indicadores padrões:

Todos os indicadores de custos foram analisados por metro quadrado de laje do pavimento tipo de cada empreendimento, e custos padrões de Curitiba, assim conseguimos uma comparação mais fiel. A produtividade foi medida em relação ao tempo médio de execução de cada pavimento, considerando todas as etapas da execução da estrutura do pavimento em questão e do re-escoramento do pavimento anterior que ocorrem ao mesmo tempo.

3.1. CARACTERÍSTICAS DAS OBRAS ANALISADAS

3.1.1. Apresentação: Obra de laje nervurada unidirecional:

- Edifício ROYAL PALACE
- Canoas – RS
- 15 pavimentos (dois subsolos – térreo – 12 tipos)
- Tipo com quatro apartamentos com $A=167\text{m}^2$ privativos.
- $A. \text{ total} = 14.300\text{m}^2$
- Atualmente a obra encontra-se no 6º pavimento tipo com aproximadamente 10.000m^2 de obra concluída.
- Entrega prevista para outubro de 2015.
- O sistema construtivo é convencional de alvenaria de bloco cerâmico e estrutura de concreto armado. As lajes são de tabelas cerâmicas e vigotas de concreto protendido (comum na região) ver figura 13.



Figura 13: Perspectiva Royal Palace (arquivo pessoal).

As formas são feitas com chapas de compensado, cintas de madeira, travamento com sistema de parafuso e flange, escora e prumo com guias de madeira como se pode verificar na figura 14.



Figura 14: Sistema Construtivo, pilares (arquivo pessoal).

A figura 15 mostra a laje mista pré-moldada, sistema de vigota protendida e tavela cerâmica.



Figura 15: Sistema Construtivo, laje nervurada (arquivo pessoal).

Escoramento metálico e travamento em madeira, escoras ajustáveis de 3,10m e cruzetas fixas de 50cm, ver figura 16.



Figura 16: Escoramento Metálico (arquivo pessoal).

3.1.2. Apresentação: Obra de laje maciça protendida:

- Edifício Alexandre Caron
- Curitiba - Paraná
- 11 pavimentos (dois subsolos – térreo – sete tipos - ático)
- Tipo com cinco apartamentos de $A=94\text{m}^2$ privativos.
- $A. \text{ total} = 6.200\text{m}^2$
- Entrega prevista para Dezembro de 2014.
- O sistema construtivo é composto por concreto protendido e fechamento externo e interno em alvenaria de bloco cerâmico. As lajes são em cordoalhas engraxadas e com concreto auto adensável (ver figura 17).



Figura 17: Perspectiva Alexandre Caron (arquivo pessoal).

Chapas de compensado, travamento em madeira e presilhas em aço, e prumo dos pilares com escoras metálicas, verificar figura 18.



Figura 18: Sistema Construtivo, pilares (arquivo pessoal).

Laje protendida com cordoalhas engraxadas (ver figura 19).



Figura 19: Sistema Construtivo, laje protendida (arquivo pessoal).

Escoramento metálico, cibramento primario metalico e secundario em madeira (ver figura 20).



Figura 20: Escoramento Metálico (Arquivo pessoal).

Laje Protendida sem vigas permitindo maior flexibilidade no projeto arquitetônico como se pode verificar na figura 21.



Figura 21: Laje Protendida (Arquivo pessoal).

3.2. DADOS:

3.2.1. Obra Alexandre Caron:

Abaixo estão todas as tabelas envolvendo os indicadores que foram coletados em cada obra respectivamente formas, concreto, armadura, escoramento e re-escoramento e demais itens avaliados.

Na Tabela 03 apresenta valores unitários e quantidades de formas por metro quadrado por laje.

Laje Maciça Protendida - Área 495 m2 a cada 12 dias			
	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Formas - Material (m2)			
Pilares	R\$ 54,00	190,00	R\$ 1.026,00
Vigas	R\$ 54,00	35,00	R\$ 189,00
Laje	R\$ 110,00	495,00	R\$ 5.445,00

Tabela 03: Valores e Quantidades de Forma

Na Tabela 04 apresenta valores unitários e quantidades de concreto por metro cúbico por laje.

	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Concreto (Auto adensável 30 Mpa)			
Pilares	R\$ 265,00	19,00	R\$ 5.035,00
Vigas	R\$ 265,00	2,50	R\$ 662,50
Laje	R\$ 265,00	96,00	R\$ 25.440,00

Tabela 04: Valores e Quantidades de Concreto

Na Tabela 05 apresenta valores unitários, quantidades de armaduras por tonelada por laje e quantidades de cordoalhas por laje.

	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Armadura			
5 mm	R\$ 2.850,00	0,25	R\$ 712,50
6,3 mm	R\$ 3.121,00	1,00	R\$ 3.121,00
8 mm	R\$ 3.059,63	2,50	R\$ 7.649,08
10 mm	R\$ 2.879,35	5,00	R\$ 14.396,75
12,5 mm	R\$ 2.742,24	5,00	R\$ 13.711,20
16 mm	R\$ 2.742,24	0,00	R\$ 0,00
20 mm	R\$ 2.742,24	0,00	R\$ 0,00
Espaçadores	R\$ 0,09	1.500,00	R\$ 135,00
Cordoalhas	R\$ 4,10	2.696,00	R\$ 11.053,60
Apoio para Cordoalhas	R\$ 2,79	2.696,00	R\$ 7.521,84

Tabela 05: Valores e Quantidades de Aço

Na Tabela 06 apresenta valores unitários e quantidades de escoramento por metro cúbico por laje.

	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Escoramento e Re Escoramento			
Escora de Prumo	R\$ 5,00	75,00	R\$ 187,50
Escora Metálica de 3,60m	R\$ 2,80	880,00	R\$ 1.232,00
Lp 122	R\$ 1,36	22,00	R\$ 14,96
Lp 183	R\$ 2,87	33,00	R\$ 47,36
Lp 244	R\$ 5,04	352,00	R\$ 887,04
Lp 305	R\$ 7,40	4,00	R\$ 14,80
Lp Final 87	R\$ 0,97	9,00	R\$ 4,37
Lp 213	R\$ 4,40	23,00	R\$ 50,60

Tabela 06: Valores e Quantidades de Escoramento

Na Tabela 07 apresenta valores unitários e quantidades da mão de obra, bonificação, assessoria de protensão, controle tecnológico de concreto, mão de obras de armaduras, bombeamento de concreto e escada metálica.

	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Demais Itens			
Mão de Obra	R\$ 23.520,00	1,00	R\$ 23.520,00
Bonificação	R\$ 2.750,00	1,00	R\$ 2.750,00

Assessoria da Empresa Impacto Sul	R\$ 4,65	2.696,00	R\$ 12.536,40
Controle Tecnológico do Concreto	R\$ 11,00	117,50	R\$ 1.292,50
Mão de Obra - Armaduras	R\$ 1,80	16.446,00	R\$ 29.602,80
Bombeamento do Concreto	R\$ 28,00	117,50	R\$ 3.290,00
Escada Metálica	R\$ 2.500,00	1,00	R\$ 2.500,00

Tabela 07: Valores e Quantidades dos demais itens

3.2.2. Obra Royal Palace:

Da mesma maneira que avaliada a obra Alexandra Caron, a obra Royal Palace foi analisada nos fatores forma, concreto, armadura, escoramento e re-escoramento e demais itens.

Na Tabela 08 apresenta valores unitários e quantidades de formas por metro quadrado por laje.

Laje Nervurada Unidirecional - Área 760 m2 a cada 18 dias			
	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Formas - Material (m2)			
Pilares	R\$ 54,00	453	R\$ 2.038,50
Vigas	R\$ 54,00	388	R\$ 1.746,00
Laje	R\$30,92	760	R\$ 23.500,00

Tabela 08: Valores e Quantidades de Forma

Na Tabela 09 apresenta valores unitários e quantidades de concreto por metro cúbico por laje.

	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Concreto (Slump 10+-2; 30 Mpa) - por Laje			
Pilares	R\$ 265,00	30,00	R\$ 7.950,00
Vigas e Laje	R\$ 265,00	120,00	R\$ 31.800,00

Tabela 09: Valores e Quantidades de Concreto

Na Tabela 10 apresenta valores unitários e quantidades de armaduras por tonelada por laje.

	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Armadura			
Tela Q92	R\$ 5,00	576,00	R\$ 2.880,00
Tela t283	R\$ 11,00	336,00	R\$ 3.696,00
5 mm	R\$ 2.850,00	0,34	R\$ 969,00
6,3 mm	R\$ 3.121,00	0,70	R\$ 2.184,70
8 mm	R\$ 3.059,63	0,45	R\$ 1.376,83
10 mm	R\$ 2.879,35	1,12	R\$ 3.224,87
12,5 mm	R\$ 2.742,24	0,62	R\$ 1.700,19
16 mm	R\$ 2.742,24	0,90	R\$ 2.468,02
20 mm	R\$ 2.742,24	0,08	R\$ 219,38
Espaçadores	R\$ 0,09	1.500,00	R\$ 135,00

Tabela 10: Valores e Quantidades de Aço

Na Tabela 11 apresenta valores unitários e quantidades de escoramento por metro cúbico por laje.

	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Escoramento e Re Escoramento			
Escora de Prumo	R\$ 5,00	240,00	R\$ 1.200,00
Escora Metálica de 3,10m	R\$ 2,80	1200,00	R\$ 3.360,00
Cabeçal simples de escora	R\$ 0,80	400,00	R\$ 320,00
Cruzeta	R\$ 1,20	600,00	R\$ 720,00
Guias de escoramento	R\$ 5,00	60,00	R\$ 300,00

Tabela 11: Valores e Quantidades de Escoramento

Na Tabela 12 apresenta valores unitários e quantidades da mão de obra, bonificação, controle tecnológico de concreto, mão de obras de armaduras e bombeamento de concreto.

	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Demais Itens			
Mão de Obra	R\$ 15,00	4176	R\$ 62.640,00
Bonificação	R\$ 4.500,00	1	R\$ 4.500,00

Controle Tecnológico do Concreto	R\$ 11,00	150	R\$ 1.650,00
Mão de Obra - Armaduras	R\$ 1,80	13.520	R\$ 24.329,02
Bombeamento do Concreto	R\$ 28,00	150	R\$ 4.200,00

Tabela 12: Valores e Quantidades dos demais itens

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

4.1. FORMAS:

Analisando a metragem de formas das duas obras, chegamos à comparação da tabela a seguir:

Tabela 13: Área de forma/m² de laje

	Alexandre Caron	Royal Palace	Diferença
Área de forma (m ²) / m ² de laje	1,45m ²	1,11m ²	31,45%

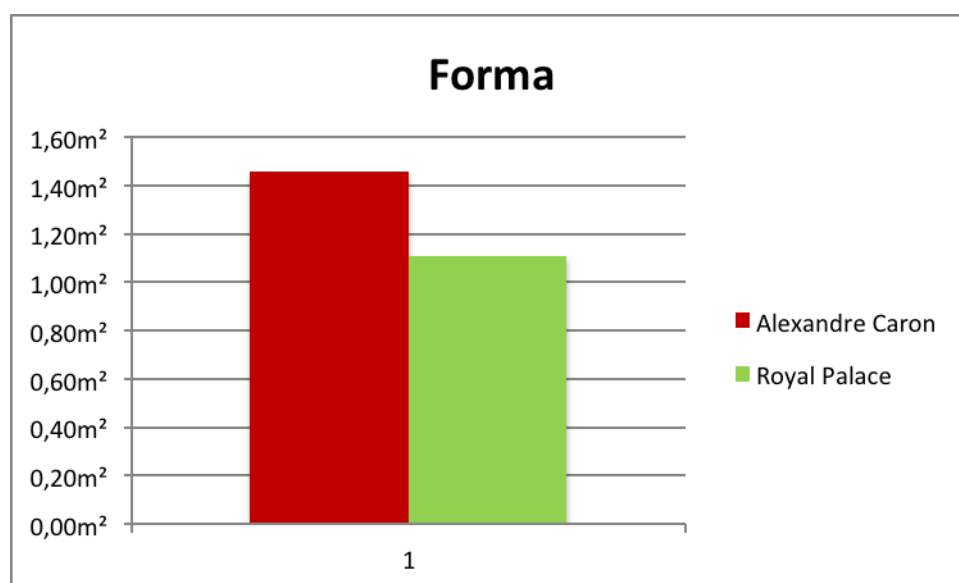


Figura 22– Comparativo de área de formas.

Esta diferença de 31,45% menor na obra Royal Palace, se dá por ser uma obra composta por laje nervurada unidirecional pré-moldada, utilizando as

próprias vigotas e tabelas como forma de laje, porém ela tem um aumento nas formas de vigas e pilares.

A diferença se inverte quando somamos a laje pré-moldada a este item, pois ela significa um valor de R\$30,92 / m² de laje.

Logo, o valor de forma simboliza 3,82% (R\$ 13,45 / m²) na obra Alexandre Caron, enquanto na obra Royal Palace ela passa a representar 12,77% (R\$ 35,90 / m²) em relação ao custo total.

4.2. CONCRETO

Análise da tabela de volume de concreto:

Tabela 14: Volume de Concreto (m³)/m² de laje

	Alexandre Caron	Royal Palace	Diferença
Volume de concreto (m ³) / m ² de laje	0,24m ³	0,20m ³	20,27%

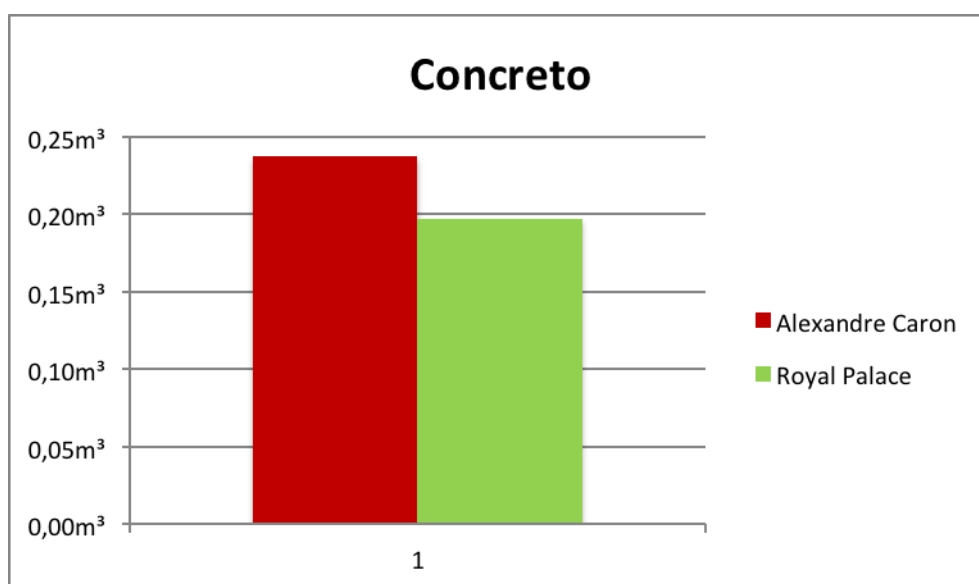


Figura 23 – Comparativo de volume de concreto.

Esta diferença significativa de 20,27% a favor da obra Royal Palace pode ser relacionada ao fato da laje pretendida ser mais espessa, mesmo tendo uma

densidade menor de vigas e pilares, a laje maciça protendida tem 18cm de espessura enquanto a laje nervurada é executada com uma capa média de 10cm de concreto.

Em relação ao custo total, o concreto simboliza 17,85% (R\$ 62,90 / m²) na obra Alexandre Caron enquanto na obra Royal Palace ele simboliza 18,60% (R\$ 52,30 / m²).

4.3. ARMADURA

Análise da tabela de taxa de armadura. Foram utilizados todos os itens que compõe o insumo armadura:

Tabela 15: Taxa de Armadura (kg) / m² de laje

	Alexandre Caron	Royal Palace	Diferença
Armadura Passiva (kg) / m ² de laje	0,03kg	2,47kg	8780,49%
Espaçadores (unid.) / m ² de laje.	3,03	1,97	53,54%
Armadura Ativa (kg) / m ² de laje	5,45kg	0,00kg	-
Apoio para cordoalhas (unid.) / m ² de laje	5,45	0,00	-
Escoramento (R\$) / m ² de laje	R\$ 4,93	R\$ 6,18	25,53%

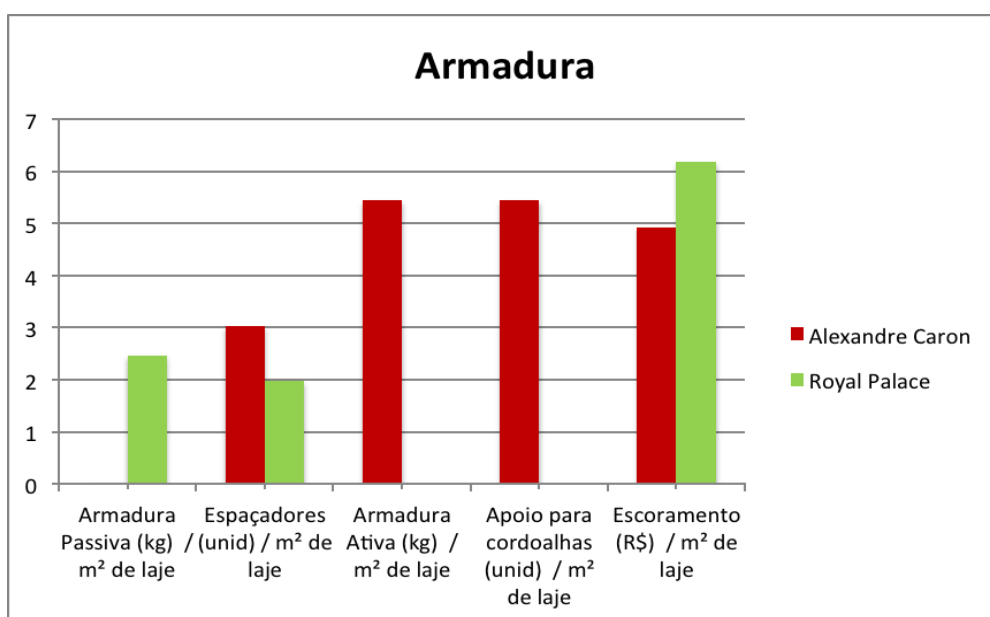


Figura 24 – Comparativo taxa de Armadura.

A armadura é a parte da estrutura que tem as maiores diferenças, enquanto a laje nervurada unidirecional tem uma quantidade de aço de 8780,49% a mais. Ela não utiliza armadura ativa (cordoalhas) que representam 5,45kg / m² de laje no sistema com laje maciça protendida. Além disso, existem diferenças em espaçadores, apoio das cordoalhas e também no escoramento e re-escoramento. Simbolizando uma diferença entre sistemas de aproximadamente 25% no custo total, ou seja, o concreto na obra Alexandre Caron representa 36,51% (R\$ 128,68 / m²) em relação ao seu custo total, já na obra Royal Palace este item representa um percentual significativamente inferior, são apenas 20,34% que representam R\$ 57,20 / m² de obra.

4.4. MÃO DE OBRA

Tabela 16: Percentual de mão-de-obra / m² de laje

	Alexandre Caron	Royal Palace	Diferença
Mão de Obra / m ² de laje	R\$ 112,87	R\$ 88,34	27,77%

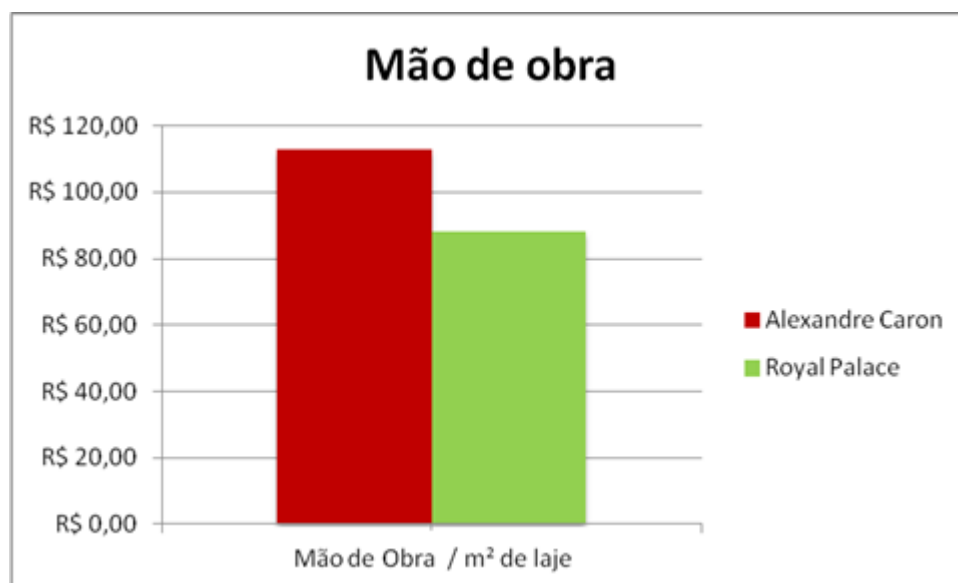


Figura 25 – Comparativo valor mão de obra.

A mão de obra também representa uma diferença significativa entre as obras, um total de 27,77% a mais na obra Alexandre Caron, isto pode ser relacionado ao fato de ser um sistema construtivo mais tecnológico, com diversas vantagens, dentre elas a facilidade de personalização e o aumento de pé direito, porém o custo da mão de obra se torna mais elevado, no empreendimento Alexandre Caron a mão de obra representa 32,03% (R\$ 112,87), e no Royal Palace 31,41% (R\$ 88,34).

4.5. CUSTO TOTAL

Tabela 17: Custo total da obra / m² de laje

	Alexandre Caron	Royal Palace	Diferença
Total / m ² de laje	R\$ 352,45	R\$ 281,22	25,33%

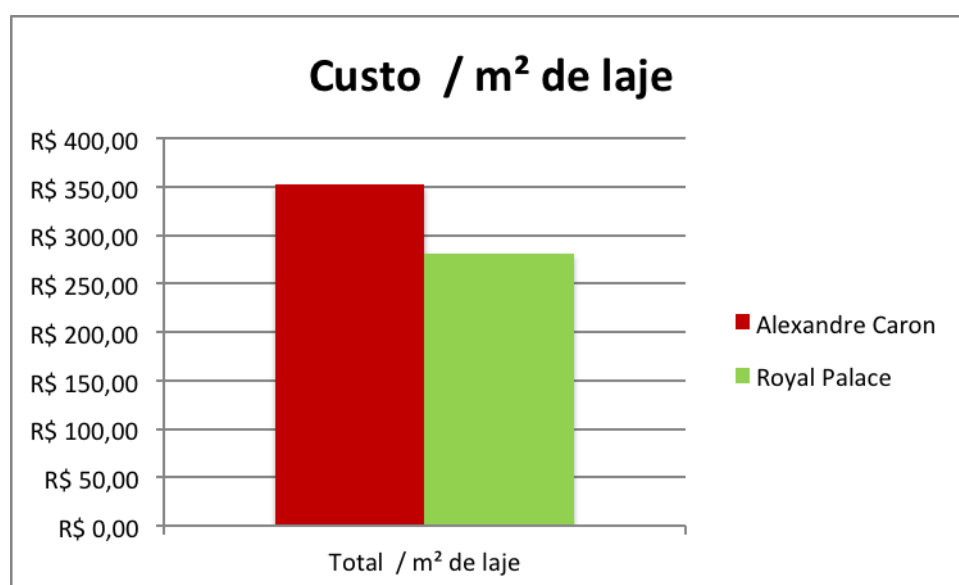


Figura 26 – Comparativo de custo / m² de laje.

Avaliando o custo total por m² de laje construída, a diferença entre os sistemas fica em 25,33% mais caro para a obra Alexandre Caron que é executado com laje maciça protendida, representando um valor de R\$71,23 por metro quadrado de obra.

4.6. TEMPO

Tabela 18: Percentual de horas trabalhadas/ m² de laje

	Alexandre Caron	Royal Palace	Diferença
Horas de serviços / m ² de laje	0,23h	0,21h	7,47%
Homem / Hora	7,47	5,52	35,33%

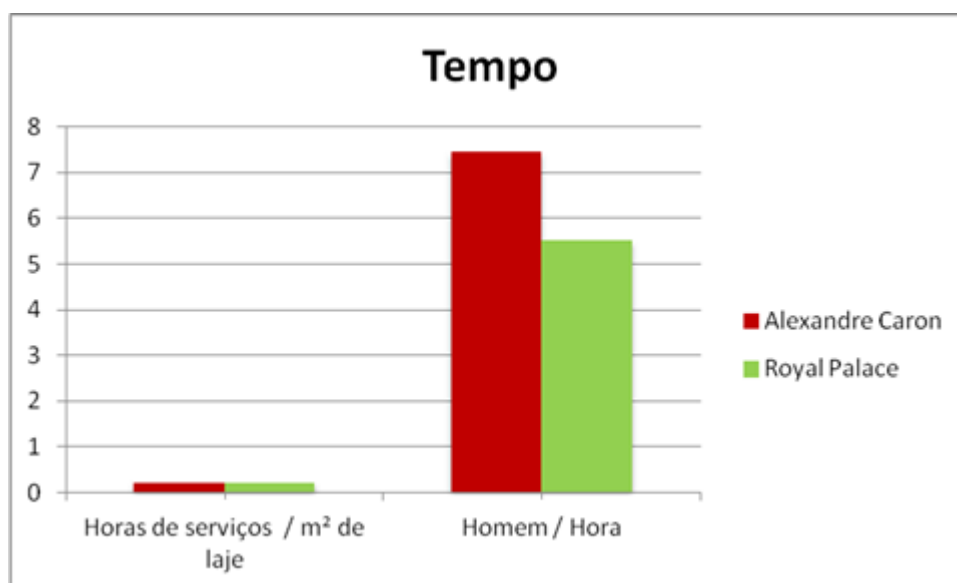


Figura 27 – Comparativo de Hora de serviço / m² de laje e H/h.

Outro fator a ser analisado é o tempo de execução de cada sistema construtivo, em relação as horas de serviços por metro quadrado de laje, os dois sistemas ficaram muito semelhantes, apenas 7,47% de diferença, porém, isto deve-se ao fato de a obra Alexandre Caron ter um número maior de funcionários, sendo necessário 7,47 homem / hora, representando uma diferença de 35,33% a mais que a obra Royal Palace que utiliza 5,52 homem / hora.

Em função dos objetivos desse trabalho, relativos ao estudo de comparar qual o sistema construtivo entre laje nervurada unidirecional e laje protendida com cordoalhas engraxadas se torna mais vantajoso perante o ponto de vista financeiro e de produtividade pode-se concluir o que segue:

A obra de laje maciça protendida com cordoalhas engraxada, nomeada como Alexandre Caron, teve o custo total por pavimento de R\$174.461,59, sendo que cada pavimento tem 495m² e foi executado em 12 dias trabalhados. Logo, o valor médio e o tempo de execução por m² são de R\$352,45 e 0,23h consecutivamente. A obra de laje nervurada unidirecional, nomeada como Royal Palace, teve o custo total por pavimento de R\$ 213.726,50, sendo que cada pavimento tem 760m², e foi executado em 18 dias trabalhados. O valor médio e o tempo de execução por m² são de R\$ 281,22 e 0,21h consecutivamente.

5. RECOMENDAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

5.1. RECOMENDAÇÕES FINAIS

Recomendamos a trabalhos e pesquisas futuras, a inserção de outros insumos e serviços comparativos tais como alvenaria, revestimentos, fundação e a contratação de serviços terceirizados. A importância de continuar pesquisando sistemas construtivos diversos torna os canteiros de obras em verdadeiras linhas de montagem, aumentando sua produtividade, reduzindo custos e melhorando a qualidade do serviço além de melhorar a gestão e a competitividade, os sistemas industrializados reduzem os desperdícios e o volume de resíduos nas obras.

Com o aumento da produtividade nas obras os indicadores vão se encaixando ao perfil da empresa assim, criando índices de produtividade reais para que a construtora possa utilizá-los em outras obras. Estes indicadores de produtividade acabam muitas vezes se tornando exclusivo a um sistema construtivo por isto vemos muitas construtoras especializadas em um determinado tipo de empreendimento, pois já possuem conhecimento na área e indicadores suficientes.

A escolha futura do sistema construtivo deverá considerar que os projetos terão mais agilidade de execução, melhores fatores econômicos, sustentabilidade e qualidade da obra. Desta maneira, através da junção entre o sistema construtivo adequado e indicadores cada vez mais próximos à realidade das obras, o resultado esperado é o impacto que se dará financeiramente no empreendimento. O impacto causado por esta combinação resulta em economia nos insumos e serviços que em muitos momentos são um gargalo nas obras e lucro no valor final de venda da construção.

5.2. CONCLUSÃO

Assim, conclui-se que o sistema construtivo com laje nervurada unidirecional é mais vantajoso do ponto de vista financeiro e também de produtividade, sendo 25,33% mais econômico e sendo executados 7,47% mais rápido. Porém, este estudo foi realizado em edifícios residenciais sem personalizações, recomendam-se para um novo estudo que seja avaliado as situações que envolvem o sistema construtivo com laje maciça protendida, principalmente para edifícios residências e comerciais com personalização e/ou com um apelo de marketing mais tecnológico, pois este novo sistema vem tendo um crescimento significativo nos últimos anos acompanhando a evolução da construção.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, A. T. (1999). **Análise de alternativas estruturais para edifícios em concreto armado**. São Carlos. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

ANDRADE, Artemária Coelho de; SOUZA, Ubiraci Espinelli Lemes de
Simposio brasileiro de gestão e economia da construção. 3. ed. 2003, São Carlos.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7207 – Terminologia e classificação de pavimentação**. Rio de Janeiro, 1982.

BALBO, J. T. **Pavimentos de Concreto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

BAPTISTA, C. F. **Pavimentação**. Porto Alegre: Globo, 1976.

BRAGA, Maria Ângela. **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. 7. ed. 1998, Florianópolis. A Importância da Adequação de Sistemas Construtivos a Contextos Específicos, 1998.

Câmara Brasileira da Indústria da Construção Civil, edição online 2009.

CARVALHO, M. D. **Pavimento de Concreto: reduzindo o custo social**. Disponível em: http://www.abcp.org.br/sala_de_imprensa/arquivos_arquivos_pdf/pav_artigo2007.pdf. Acesso em 14/12/2009.

EFNARC – THE EUROPEAN FEDERATION OF SPECIALIST CONSTRUCTION CHEMICALS AND CONCRETE SYSTEMS. **The European guidelines for self- compacting concrete. Specification, production and use**. Maio, 2005.

FEDERACIÓN INTERAMERICANA DEL CEMENTO (FICEM). **A Rodovia de Concreto Panamá : Guia Prático para Transferência da Tecnologia. “La route em betón de ciment – Concrete Roads”**. Comitê Técnico de Rodovias da AIPCR-PIARC – 1ª. Edição, 2006.

FRANCO, J.; PEREIRA, F.; REGGIARDO C. **Manual de Reparo, Proteção e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Rehabilitar, 2003.

GETTU, R. AGULLÓ, L. **Estado del arte del hormigón autocompactable y su caracterización**. Informe C4745/1. Departamento de engenharia de construção E.T.S. de engenheiros de caminhos, canais e portos. Universidade Politécnica da Catalunha. Barcelona, 2003.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2009.

GIUBLIN, C. R. Apostila, Disciplina: **Patologias em Pavimentos Rígidos**. Curitiba, 2009.

GIUBLIN, C. R., **Diretrizes para o Planejamento de Canteiros de Obra de Pavimentação de Concreto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Prof. Orientador Aguinaldo dos Santos, Ph.D. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MESQUITA, J. C. L. **Pavimento Rígido como Alternativa Econômica para Pavimentação Rodoviária - Estudo de Caso: Rodovia BR-262, Miranda**

Morro do Azeite/MS. Disponível em: <http://www.tede.ufsc.br/teses/PECCV0373.pdf>. Acesso em 18/02/2010 às 10:45.

OKAMURA, H. OZAWA, K. OUCHI, M. **Self-compacting concrete**. Structural Concrete, No 1. Março, 2000. pp. 3-17.

OKAMURA, H. OUCHI, M. **Self-compacting concrete**. Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 1, No 1. Abril, 2003. pp. 5-15.

OKAMURA, H. **Self-compacting high-performance concrete**. Concrete International. Julho, 1997. pp. 50-54.

PACE, G.; BECKER, E. **Costo de Pavimentos a lo largo de su vida útil, Buenos Aires**. Disponível em: <http://www.lomanegra.com.ar/pdf/trabajos/cpu.pdf>. Acesso em 16/03/2010 às 19:45.

PREGO, A. S. S. **A Memória da Pavimentação no Brasil**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 2001.

RILEM TECHNICAL COMMITTEE. **Final report of RILEM TC 188-CSC ‘casting of self-compacting concrete’**. Materials and Structures. Maio, 2006.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. São Paulo: Pini, 1997.

SILVA, F. H. R; TRINDADE, W. L. **Determinação do ICP do Pavimento de Concreto de Cimento Portland da Av. Iguaçu em Curitiba**. TCC (Graduação de Engenharia Civil) Universidade Positivo, Curitiba, 2008.

SILVA, P. F. A. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos**. São Paulo: Pini, 2005.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DO CIMENTO. **Cimento no Brasil**. Disponível em http://www.snic.org.br/pdf/presskit_SNIC_2007.pdf. Acesso em 17/03/2010 às 19:30 h.

TUTIKIAN, B. F. DAL MOLIN, D. CREMONINI, R. **Viabilização econômica do concreto auto-adensável**. 12o Concurso Falcão Bauer. 2005.

TUTIKIAN, B. F. DAL MOLIN, D. CREMONINI, R. **Viabilização econômica do concreto auto-adensável**. 12o Concurso Falcão Bauer. 2005.

MEMORIAL DE CALCULO

3.1.1 Obra Alexandre Caron:

Abaixo serão apresentados todos os cálculos das tabelas envolvidas no trabalho respectivamente formas, concreto, armadura, escoramento e re-escoramento e demais itens avaliados.

Laje Maciça Protendida - Área 495 m2 a cada 12 dias			
	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Formas - Material (m2)			
Pilares	R\$ 54,00	190,00	R\$ 1.026,00
Vigas	R\$ 54,00	35,00	R\$ 189,00
Laje	R\$ 110,00	495,00	R\$ 5.445,00

Tabela 03: Valores e Quantidades de Forma

Formas dos Pilares :

- Valor Unitário composto em metro quadrado de maderit (1,10x2,20x0,15) e travamento em caibros 2x3 em pinus, totalizando R\$ 54,00 por metro quadrado de material.
- Quantidade de metro quadrado de formas retirado do projeto estrutural, totalizando 190,00 metros quadrados.
- Total por pavimento é o valor unitário multiplicado pelos m² do pavimento dividido por 10 pavimentos (considerando que as formas são reaproveitadas em todos os pavimentos).

Total: $54 \times 190 = R\$10.260 / 10 = R\$1.026,0$ / laje.

Formas de Vigas:

- Valor Unitário composto em metro quadrado de maderit (1,10x2,20x0,15) e travamento em ripas 1x3 em pinus, totalizando R\$ 54,00 por metro quadrado de material.
- Quantidade de metro quadrado de formas retirado do projeto estrutural, totalizando 35,00 metros quadrados.
- Total por pavimento é o valor unitário multiplicado pelos m² do pavimento dividido por 10 pavimentos (considerando que as formas são reaproveitadas em todos os pavimentos).

Total: $54 \times 35 = \text{R\$}1890,00/10 = \text{R\$}189,00$ / laje.

Formas de Laje:

- Valor Unitário composto em metro quadrado de maderit (1,22x2,44x0,18) e cibramento secundário caibro 2x4 em pinus, totalizando R\$ 110,00 por metro quadrado de material.
- Quantidade de metro quadrado de formas retirado do projeto estrutural, totalizando 495,00 metros quadrados.
- Total por pavimento é o valor unitário multiplicado pelos m² do pavimento dividido por 10 pavimentos (considerando que as formas são reaproveitadas em todos os pavimentos).

Total: $110 \times 495 = \text{R\$}54.450,00/10 = \text{R\$}5.445,00$ / laje.

	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Concreto (Auto adensável 30 Mpa)			
Pilares	R\$ 265,00	19,00	R\$ 5.035,00
Vigas	R\$ 265,00	2,50	R\$ 662,50
Laje	R\$ 265,00	96,00	R\$ 25.440,00

Tabela 04: Valores e Quantidades de Concreto

Concreto dos Pilares :

- Valor Unitário composto em metro cúbico de concreto auto-adensável no mês de outubro de 2013 fornecido pela Engemix Curitiba, sendo R\$ 265,00 por metro cúbico de material.
 - Quantidade de metro quadrado de formas retirado do projeto estrutural, totalizando 19,00 metros cúbicos.
 - Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.
- Total: $265 \times 19 = \text{R\$}5.035,00$ / laje.

Concreto de Vigas:

- Valor Unitário composto em metro cúbico de concreto auto-adensável no mês de outubro de 2013 fornecido pela Engemix Curitiba, sendo R\$ 265,00 por metro cúbico de material.
 - Quantidade de metro quadrado de formas retirado do projeto estrutural, totalizando 2,50 metros cúbicos.
 - Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.
- Total: $265 \times 2,5 = \text{R\$}662,50$ / laje.

Concreto de Laje:

- Valor Unitário composto em metro cúbico de concreto auto-adensável no mês de outubro de 2013 fornecido pela Engemix Curitiba, sendo R\$ 265,00 por metro cúbico de material.
 - Quantidade de metro quadrado de formas retirado do projeto estrutural, totalizando 96,00 metros cúbicos.
 - Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.
- Total: $265 \times 96 = \text{R\$}25.440,00$ / laje.

	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Armadura			
5 mm	R\$ 2.850,00	0,25	R\$ 712,50
6,3 mm	R\$ 3.121,00	1,00	R\$ 3.121,00
8 mm	R\$ 3.059,63	2,50	R\$ 7.649,08
10 mm	R\$ 2.879,35	5,00	R\$ 14.396,75
12,5 mm	R\$ 2.742,24	5,00	R\$ 13.711,20
16 mm	R\$ 2.742,24	0,00	R\$ 0,00
20 mm	R\$ 2.742,24	0,00	R\$ 0,00
Espaçadores	R\$ 0,09	1.500,00	R\$ 135,00
Cordoalhas	R\$ 4,10	2.696,00	R\$ 11.053,60
Apoio para Cordoalhas	R\$ 2,79	2.696,00	R\$ 7.521,84

Tabela 05: Valores e Quantidades de Aço

Armaduras :

- Valor Unitário composto em tonelada no mês de outubro de 2013 fornecido pela Votoração Curitiba, apresentando valores diferentes entre as bitolas, como por exemplo: Aço com bitola de 8 mm tem valor unitário de R\$ 3.059,63 por tonelada.

- Quantidade de tonelada de aço retirado do projeto estrutural, apresentando valores diferentes entre as bitolas, como por exemplo: Aço com bitola de 8 mm necessita de 2,50 toneladas por laje.

- Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.

Total: $3.059,63 \times 2,5 = R\$ 7.649,08$ / laje.

Espaçadores:

- Valor Unitário composto em unidades no mês de outubro de 2013 fornecido pela Eplas, foi feito media de valores unitário de espaçadores utilizados na laje, apresentando valor médio de R\$ 0,09 por unidade.

- Quantidade de espaçadores retirado do levantamento em obra, totalizando 1500 unidades.

- Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.

Total: $0,09 \times 1.500 = R\$ 135,00$ / laje.

Cordoalhas:

- Valor Unitário composto em kilos no mês de outubro de 2013 fornecido pela Acerlormital Curitiba, sendo R\$ 4,10 por kilo de material.
- Quantidade de cordoalhas retirado do projeto estrutural, totalizando 2.696,00 kilos por laje.
- Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.

Total: $4,10 \times 2.696,00 = \text{R\$}11.053,60$ / laje.

Apoios:

- Valor Unitário composto em verba por kilo de cordoalha no mês de outubro de 2013 fornecido pela Impacto Sul Curitiba, sendo R\$ 2,79 por kilo de de cordoalha.
- Quantidade de cordoalhas retirado do projeto estrutural, totalizando 2.696,00 kilos por laje.
- Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.

Total: $2,79 \times 2.696,00 = \text{R\$}7.521,84$ / laje.

	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Escoramento e Re Escoramento			
Escora de Prumo	R\$ 5,00	75,00	R\$ 187,50
Escora Metálica de 3,60m	R\$ 2,80	880,00	R\$ 1.232,00
Lp 122	R\$ 1,36	22,00	R\$ 14,96
Lp 183	R\$ 2,87	33,00	R\$ 47,36
Lp 244	R\$ 5,04	352,00	R\$ 887,04
Lp 305	R\$ 7,40	4,00	R\$ 14,80
Lp Final 87	R\$ 0,97	9,00	R\$ 4,37
Lp 213	R\$ 4,40	23,00	R\$ 50,60

Tabela 06: Valores e Quantidades de Escoramento

Escoramento e Re Escoramento:

- Valor Unitário composto em unidades no mês de outubro de 2013 fornecido pela Impacto Sul Curitiba, foi apresentado projeto de escoramento que tem peças diferentes e funções diferentes na composição, gerando valores unitários e quantidades diferentes, como por exemplo: Escora Metálica de 3,60m tem valor unitário por mês de uso de R\$ 2,80 por peça.

- Quantidade de escoramento e re escoramento retirado do levantamento do projeto de escoramento, como por exemplo: Escora Metálica de 3,60m necessita de 880 peças por laje.

- Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.

Total: $2,80 \times 880 = \text{R\$}1.232,00$ / laje.

	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Demais Itens			
Mão de Obra	R\$ 23.520,00	1,00	R\$ 23.520,00
Bonificação	R\$ 2.750,00	1,00	R\$ 2.750,00
Assessoria da Empresa Impacto Sul	R\$ 4,65	2.696,00	R\$ 12.536,40
Controle Tecnológico do Concreto	R\$ 11,00	117,50	R\$ 1.292,50
Mão de Obra - Armaduras	R\$ 1,80	16.446,00	R\$ 29.602,80
Bombeamento do Concreto	R\$ 28,00	117,50	R\$ 3.290,00
Escada Metálica	R\$ 2.500,00	1,00	R\$ 2.500,00

Tabela 07: Valores e Quantidades dos demais itens

Mão de Obra:

- Valor da mão de obra foi calculado tomando base o custo hora de funcionários em Curitiba em oficiais e meios oficiais vezes a quantidades funcionários, totalizando R\$ 23.520,00 / laje.

Bonificação

- Valor a ser pago para equipe se comprida a atividade na data prevista, totalizando R\$ 2.750,00 / laje.

Assessoria da Empresa Impacto Sul:

- Valor Unitário composto em verba por kilo de cordoalha no mês de outubro de 2013 fornecido pela Impacto Sul Curitiba, sendo R\$ 4,65 por kilo de cordoalha, para acompanhamento e verificação do serviço de Protensão.
- Quantidade de cordoalhas retirado do projeto estrutural, totalizando 2.696,00 kilos por laje.
- Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.

Total: $4,65 \times 2.696,00 = \text{R\$}12.536,40$ / laje.

Controle Tecnológico do Concreto:

- Valor Unitário composto em verba por metros cúbicos de concreto no mês de outubro de 2013 fornecido pela Cdtec Controle Tecnológico, sendo R\$ 11,00 por metro cubico lançado em obra, para validação da qualidade do concreto.
- Quantidade de concreto retirado do projeto estrutural, totalizando 117,50 metros cubicos por laje.
- Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.

Total: $11,00 \times 117,50 = \text{R\$}1.292,50$ / laje.

Mão de Obra – Armaduras:

- Valor Unitário composto em verba por kilo de aço no mês de outubro de 2013 fornecido pela Assultec (Empreiteira em Armaduras), sendo R\$ 1,80 por kilo de aço lançado em obra, para corte, dobra e lançamento na forma.
- Quantidade de kilo de aço retirado do projeto estrutural, totalizando 16.446,00 kilos de aços por laje.
- Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.

Total: $1,80 \times 16.446,00 = \text{R\$}29.602,80$ / laje.

Bombeamento do Concreto:

- Valor Unitário composto em verba por metros cúbicos de concreto no mês de outubro de 2013 fornecido por ChicoMix Bombeamento de Concreto, sendo R\$ 28,00 por metro cubico lançado em obra, para serviço de bombeamento de concreto.
- Quantidade de concreto retirado do projeto estrutural, totalizando 117,50 metros cubicos por laje.
- Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.

Total: $28,00 \times 117,50 = \text{R\$}3.290,00$ / laje.

Escada Metálica:

- Valor da instalação e material para escada entre pavimentos, totalizando R\$ 2.500,00.

3.1.2 Obra Royal Palace:

Da mesma maneira que avaliada a obra Alexandra Caron, a obra Royal Palace foi analisada nos fatores forma, concreto, armadura, escoramento e re-escoramento e demais itens.

Laje Nervurada Unidirecional - Área 760 m2 a cada 18 dias			
	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Formas - Material (m2)			
Pilares	R\$ 54,00	453	R\$ 2.038,50
Vigas	R\$ 54,00	388	R\$ 1.746,00
Laje	R\$30,92	760	R\$ 23.500,00

Tabela 08: Valores e Quantidades de Forma

Formas dos Pilares :

- Valor Unitário composto em metro quadrado de maderit (1,10x2,20x0,15) e travamento em caibros 2x3 em pinus, totalizando R\$ 54,00 por metro quadrado de material.
- Quantidade de metro quadrado de formas retirado do projeto estrutural, totalizando 453,00 metros quadrados.
- Total por pavimento é o valor unitário multiplicado pelos m² do pavimento dividido por 12 pavimentos (considerando que as formas são reaproveitadas em todos os pavimentos).

Total: $54 \times 453 = \text{R\$}24.462,00 / 12 = \text{R\$}2.038,50 / \text{laje}.$

Formas de Vigas:

- Valor Unitário composto em metro quadrado de maderit (1,10x2,20x0,15) e travamento em ripas 1x3 em pinus, totalizando R\$ 54,00 por metro quadrado de material.
- Quantidade de metro quadrado de formas retirado do projeto estrutural, totalizando 388,00 metros quadrados.
- Total por pavimento é o valor unitário multiplicado pelos m² do pavimento dividido por 12 pavimentos (considerando que as formas são reaproveitadas em todos os pavimentos).

Total: $54 \times 388 = \text{R\$}20.952,00 / 12 = \text{R\$}1.746,00 / \text{laje}.$

Formas de Laje:

- Valor Unitário composto em metro quadrado de maderit (1,22x2,44x0,18) e cibramento secundário caibro 2x4 em pinus, totalizando R\$ 30,92 por metro quadrado de material.
- Quantidade de metro quadrado de formas retirado do projeto estrutural, totalizando 760,00 metros quadrados.

- Total por pavimento é o valor unitário multiplicado pelos m² do pavimento dividido, individualmente sem reutilização, pois se trata de uma laje pré-moldada utilizada como forma e estrutura que fica incorporada na laje do pavimento.

Total: 30,92x760= R\$23.500,00 / laje.

	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Concreto (Slump 10+-2; 30 Mpa) - por Laje			
Pilares	R\$ 265,00	30,00	R\$ 7.950,00
Vigas e Laje	R\$ 265,00	120,00	R\$ 31.800,00

Tabela 09: Valores e Quantidades de Concreto

Concreto dos Pilares :

- Valor Unitário composto em metro cúbico de concreto (Slump 10+-2; 30MPa) no mês de outubro de 2013 fornecido pela Engemix Curitiba, sendo R\$ 265,00 por metro cúbico de material.

- Quantidade de metro quadrado de formas retirado do projeto estrutural, totalizando 30,00 metros cúbicos.

- Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.

Total: 265x30= R\$ 7.950,00 / laje.

Concreto de Vigas e Laje:

- Valor Unitário composto em metro cúbico de concreto (Slump 10+-2; 30MPa) no mês de outubro de 2013 fornecido pela Engemix Curitiba, sendo R\$ 265,00 por metro cúbico de material.

- Quantidade de metro quadrado de formas das vigas retirado do projeto estrutural, somado ao volume de concreto indicado pelo projeto de laje pré-moldada da empresa fornecedora, totalizando 120 metros cúbicos.

- Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.

Total: 265x120= R\$31.800,00 / laje.

	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Armadura			
Tela Q92	R\$ 5,00	576,00	R\$ 2.880,00
Tela t283	R\$ 11,00	336,00	R\$ 3.696,00
5 mm	R\$ 2.850,00	0,34	R\$ 969,00
6,3 mm	R\$ 3.121,00	0,70	R\$ 2.184,70
8 mm	R\$ 3.059,63	0,45	R\$ 1.376,83
10 mm	R\$ 2.879,35	1,12	R\$ 3.224,87
12,5 mm	R\$ 2.742,24	0,62	R\$ 1.700,19
16 mm	R\$ 2.742,24	0,90	R\$ 2.468,02
20 mm	R\$ 2.742,24	0,08	R\$ 219,38
Espaçadores	R\$ 0,09	1.500,00	R\$ 135,00

Tabela 10: Valores e Quantidades de Aço

Armaduras :

- Valor Unitário composto em tonelada no mês de outubro de 2013 fornecido pela Votoração Curitiba, apresentando valores diferentes entre as bitolas, como por exemplo: Aço com bitola de 8 mm tem valor unitário de R\$ 3.059,63 por tonelada.
- Quantidade de tonelada de aço retirado do projeto estrutural, encaminhado para a siderúrgica fornecer cortado e dobrado e conferido em obra.
- Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade da bitola correspondente, inclusive o valor das telas em metros quadrados multiplicado pela quantidade de metros quadrados considerando os 20% de transpasse.

Total: R\$18.718,99 / laje.

Espaçadores:

- Valor Unitário composto em unidades no mês de outubro de 2013 fornecido pela Eplas, foi feito media de valores unitário de espaçadores utilizados na laje, apresentando valor médio de R\$ 0,09 por unidade.
- Quantidade de espaçadores retirado do levantamento em obra, totalizando 1500 unidades.
- Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.

Total: $0,09 \times 1.500 = \text{R\$}135,00$ / laje.

	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Escoramento e Re Escoramento			
Escora de Prumo	R\$ 5,00	240,00	R\$ 1.200,00
Escora Metálica de 3,10m	R\$ 2,80	1200,00	R\$ 3.360,00
Cabeçal simples de escora	R\$ 0,80	400,00	R\$ 320,00
Cruzeta	R\$ 1,20	600,00	R\$ 720,00
Guias de escoramento	R\$ 5,00	60,00	R\$ 300,00

Tabela 11: Valores e Quantidades de Escoramento

Escoramento e Re Escoramento:

- Valor Unitário composto em unidades no mês de outubro de 2013 fornecido pela Impacto Sul Curitiba, foi apresentado projeto de escoramento que tem peças diferentes e funções diferentes na composição, gerando valores unitários e quantidades diferentes, como por exemplo: Escora Metálica de 3,10m tem valor unitário por mês de uso de R\$ 2,80 por peça.

- Quantidade de escoramento e re escoramento retirado do levantamento do projeto de escoramento, como por exemplo: Escora Metálica de 3,10m necessita de 1200 peças por laje.

- Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.

Total: $2,80 \times 1200 = \text{R\$} 3.360,00$ / laje.

	Valor Unitário	Qtde	Total p/ laje
Demais Itens			
Mão de Obra	R\$ 15,00	4176	R\$ 62.640,00
Bonificação	R\$ 4.500,00	1	R\$ 4.500,00
Controle Tecnológico do Concreto	R\$ 11,00	150	R\$ 1.650,00
Mão de Obra - Armaduras	R\$ 1,80	13.520	R\$ 24.329,02
Bombeamento do Concreto	R\$ 28,00	150	R\$ 4.200,00

Tabela 12: Valores e Quantidades dos demais itens

Mão de Obra:

- Valor da mão de obra foi calculado tomando base o custo hora de funcionários em Curitiba em oficiais e meios oficiais vezes a quantidades funcionários, totalizando R\$ 62.640,00 / laje.

Bonificação

- Valor a ser pago para equipe se cumprida a atividade na data prevista de acordo com o número de funcionários, totalizando R\$ 4.500,00 / laje.

Controle Tecnológico do Concreto:

- Valor Unitário composto em verba por metros cúbicos de concreto no mês de outubro de 2013 fornecido pela Cdtec Controle Tecnológico, sendo R\$ 11,00 por metro cúbico lançado em obra, para validação da qualidade do concreto.
- Quantidade de concreto retirado do projeto estrutural, totalizando 150,00 metros cúbicos por laje.
- Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.

Total: $11,00 \times 150,00 = \text{R\$}1.650,00$ / laje.

Mão de Obra – Armaduras:

- Valor Unitário composto em verba por kilo de aço no mês de outubro de 2013 fornecido pela Assultec (Empreiteira em Armaduras), sendo R\$ 1,80 por kilo de aço lançado em obra, para corte, dobra e lançamento na forma.
- Quantidade de kilo de aço retirado do projeto estrutural, totalizando 13.520,00 kilos de aços por laje.
- Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.

Total: $1,80 \times 13.516,12 = \text{R\$}24.329,02$ / laje.

Bombeamento do Concreto:

- Valor Unitário composto em verba por metros cúbicos de concreto no mês de outubro de 2013 fornecido por ChicoMix Bombeamento de Concreto, sendo R\$ 28,00 por metro cúbico lançado em obra, para serviço de bombeamento de concreto.
- Quantidade de concreto retirado do projeto estrutural, totalizando 150 metros cúbicos por laje.
- Total por pavimento é valor unitário multiplicado pela quantidade.

Total: $28,00 \times 150 = \text{R\$}4.200,00$ / laje.

ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Abaixo serão apresentados todos os cálculos das tabelas comparativas envolvidas no trabalho respectivamente formas, concreto, armadura, mão de obra, custo e tempo.

Área de forma (m^2) / m^2 de laje

	Alexandre Caron	Royal Palace	Diferença
Área de forma (m^2) / m^2 de laje	1,45 m^2	1,11 m^2	31,45%

Tabela 13: Área de forma/ m^2 de laje

Área de forma por metro quadrado de laje:

Alexandre Caron; $720/495 = 1,45$

Royal Palace: $841/760 = 1,11$

Diferença = $(1,45/1,11) - 1 = 31,45\%$

Volume de concreto (m³) / m² de laje

	Alexandre Caron	Royal Palace	Diferença
Volume de concreto (m³) / m² de laje	0,24m³	0,20m³	20,27%

Tabela 14: Volume de Concreto (m³)/m² de laje

Volume de concreto por metro quadrado de laje:

Alexandre Caron; $117,5/495 = 0,24$

Royal Palace: $150/760 = 0,20$

Diferença= $(0,24/0,20)-1 = 20,27\%$

Armaduras

	Alexandre Caron	Royal Palace	Diferença
Armadura Passiva (kg) / m² de laje	0,03kg	2,47kg	8780,49%
Espaçadores (unid.) / m² de laje.	3,03	1,97	53,54%
Armadura Ativa (kg) / m² de laje	5,45kg	0,00kg	-
Apoio para cordoalhas (unid.) / m² de laje	5,45	0,00	-
Escoramento (R\$) / m² de laje	R\$ 4,93	R\$ 6,18	25,53%

Tabela 15: Taxa de Armadura (kg) / m² de laje

Armadura passiva por metro quadrado de laje:

Alexandre Caron;

Royal Palace:

Diferença= $(0,24/0,20)-1 = 20,27\%$

Espaçadores por metro quadrado de laje:

Alexandre Caron; $1500/495 = 3,03$

Royal Palace: $1500/760 = 1,97$

Diferença = $(3,03/1,97) - 1 = 53,54\%$

Custo de Escoramento por metro quadrado de laje:

Alexandre Caron; $2438,62/495 = 4,93$

Royal Palace: $4700/760 = 6,18$

Diferença = $(4,93/6,18) - 1 = 25,53\%$

Mão de obra

	Alexandre Caron	Royal Palace	Diferença
Mão de Obra / m ² de laje	R\$ 112,87	R\$ 88,34	27,77%

Tabela 16: Percentual de mão-de-obra / m² de laje

Custo da mão de obra por metro quadrado de laje:

Alexandre Caron; $55.872,80/495 = 112,87$

Royal Palace: $67.140,00/760 = 88,34$

Diferença = $(112,87/88,34) - 1 = 27,77\%$

Custo total

	Alexandre Caron	Royal Palace	Diferença
Total / m ² de laje	R\$ 352,45	R\$ 281,22	25,33%

Tabela 17: Custo total da obra / m² de laje

Custo total por metro quadrado de laje:

Alexandre Caron; 352,45

Royal Palace: 281,22

Diferença: $(352,45/281,22)-1=25,33$

Tempo

	Alexandre Caron	Royal Palace	Diferença
Horas de serviços / m ² de laje	0,23h	0,21h	7,47%
Homem / Hora	7,47	5,52	35,33%

Tabela 18: Percentual de horas trabalhadas/ m² de laje

Horas de serviços por metro quadrado de laje:

Alexandre Caron; $112/495= 0,23$

Royal Palace: $160/760= 0,21$

Diferença= $(0,23/0,21)-1= 7,47\%$

Homem por hora:

Alexandre Caron; $112/15= 7,47$

Royal Palace: $160/29= 35,33$

Diferença= $(7,47/5,52)-1= 35,33\%$