



A Utilização de Taliscas de Bambu como Reforço da Armadura em Vigas de Concreto Armado

FERREIRA, Beatriz dos Santos¹, CODÁ, Amaro²

¹ Pós-graduanda em Planejamento, Gestão e Controle de Obras Civis, NPPG-Poli-UFRJ

² DSc. Engenharia Civil, Professor no Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ

Informações do Artigo

Histórico:

Recebimento: 01 Set 2018

Revisão: 20 Set 2018

Aprovação: 02 Out 2018

Palavras-chave:

Viga

Bambu

Concreto

Resumo:

O artigo tem como objetivo trazer valores obtidos em estudos que analisaram o comportamento estrutural de vigas de concreto armado com o uso de taliscas de bambu como elemento resistente a tração na flexão das vigas, visando a possível substituição do aço pelo bambu e a redução de impactos ambientais com aproveitamento de recursos naturais e de menores custos. No Brasil, o bambu é uma matéria prima encontrado em abundância, porém ainda se encontra em processo de difusão de seu uso e ainda visto com negligência. Alternativas de utilização de bambus se tornam cada vez mais interessantes na busca pela sustentabilidade. Sendo o bambu um material de fácil cultivo, relativamente barato, de rápido crescimento e abundante, revelando-se um importante aliado para projetos principalmente em construções localizadas onde o preço do aço é elevado e em projetos de inclusão social com habitações de baixa renda. Contudo os estudos esbarram na falta de norma técnica para os ensaios de peças estruturais de bambu e se tornam importante também para solucionar as dificuldades encontradas para combater o alto grau de umidade e de amido presente nos colmos, a variação no dimensionamento das peças, no adensamento entre o bambu e o concreto e sua durabilidade visto que é um material natural.

1. Introdução

O uso do bambu na construção civil data em torno de seis mil anos em países como o Japão, China, Filipinas e outros países asiáticos. Na América Central e na América do Sul há registros do uso da planta na Colômbia e na Costa Rica desde o período da pré-colonização. De acordo com Londoño

(2004), no mundo existe um total de 90 gêneros e 1200 espécies de bambus. No campo da botânica o bambu é classificado como da subfamília Bambusoideae, que na verdade representa um grupo parte da família das gramíneas, subdividindo-se uma planta lenhosa ou herbácea, angiosperma da classe monocotiledônea (um único embrião responsável por nutrir as células

embrionárias). A mesoestrutura do bambu é constituída basicamente de colmo, rizoma e fibras, sendo importante matéria-prima na fabricação de diversos objetos, móveis, cestos, forros, dentre outros. Os colmos do bambu possuem excelentes propriedades físicas e mecânicas que o qualificam, em certos casos, para ser utilizado no lugar de metais em diversos usos na construção civil.

O colmo de bambu é formado por fibras e vasos condutores de seiva, que estão distribuídos desuniformemente na sua seção transversal. Estas partes estão embebidas em uma matriz denominada parênquima responsável por formar o interior dos tecidos das plantas vasculares e secretar substâncias na planta responsáveis pelo seu crescimento. Dependendo da espécie e da idade do colmo de bambu, eles são formados em média por 40% de células de parênquima, 50% por fibras e 10% por vasos condutores de seiva. Esta composição influencia nas propriedades físicas e mecânicas do colmo, como a resistência a compressão. Pesquisas realizadas na [1] UNICAMP no ano de 2012 mostraram que utilizando somente a casca do bambu trançada, a resistência à tração aumenta consideravelmente e quanto maior a porcentagem de fibras na composição do colmo, melhor será sua resistência à compressão.

O Brasil é o país com maior diversidade, reunindo 81 % dos gêneros de bambu. O estado do Acre tem 38% do território constituído de bambuzais e as espécies exóticas mais encontradas são: *Bambusa vulgaris* Schrad, *Bambusa vulgaris* var. *vittata*, *Bambusa tuldoides*, *Dendrocalamus giganteus* e algumas espécies de *Phyllostachys*.

O uso do bambu na construção civil no Brasil teve seu início no cenário rural a partir da década de 1970 com o maior rigor da legislação e na fiscalização de exploração e extração de materiais naturais principalmente em relação à madeira nativa.

A partir daí os construtores rurais se viram na obrigatoriedade de se utilizar outros materiais que em sua maioria eram transportados dos grandes centros urbanos, o que encarecia muito a produção local. Surge então a necessidade de substituir matérias-primas de preços mais elevados, como é o caso do aço por materiais presentes no próprio ambiente onde está inserida a obra.

O bambu se insere perfeitamente nesse cenário de habitação, tendo sua produção com baixo custo podendo suprir o déficit de habitação do Brasil. Pelos cálculos do professor [2] Khosrow Ghavami (Professor Emérito desde junho 2013 e Titular da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio) a utilização do bambu pode reduzir em mais de 30% o custo final da construção. Para se ter ideia, uma casa popular feita de bambu, no Equador, onde esta tecnologia já é amplamente utilizada, custa, em média, US\$ 400. Já uma casa de alvenaria não sai por menos de US\$ 10 mil, afirma Thaisa Sampaio (mestre em Arquitetura e docente no Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFAL Campus Arapiraca, de 2006 a 2013).

A redução do custo da obra executada com o uso do bambu se mostra fator favorável ao seu uso, entretanto, a tecnologia de execução exige mão de obra especializada, o que segundo estudos realizados com o bambu gigante com manejo voltado à produção de colmos correspondem a 35% do custo da obra GUARNETTI (2007). Isso pode ser justificado pelo fato de que, apesar do processo construtivo ser simples, ele ainda é praticamente artesanal, pois não existem grandes fornecedores, sendo todo o processo de tratamento e corte feito na obra.

A utilização do bambu remete também a ECO-92 onde foi amplamente reconhecida a importância de se assumir a ideia de sustentabilidade como norteadora em todas as iniciativas tendo a necessidade

de repensar novas alternativas para o consumo de materiais na construção civil e sua geração desenfreada de resíduos a fim de tornar a atividade mais econômica e sustentável atraindo olhares para novas soluções no uso de materiais renováveis e que agridem menos o meio ambiente. LAUS (2010) atesta que o bambu é uma alternativa que reduz o consumo de energia e a produção de resíduos, e conseqüentemente de poluição causados pelo canteiro de obras, sendo o maior exemplo de desenvolvimento sustentável e de preservação ambiental. O que torna uma solução viável devido a fatores naturais e econômicos visto que seu crescimento é mais rápido do que da madeira, levando três anos para o tempo da extração enquanto que a madeira leva no mínimo seis de cultivo simples.

O bambu é um material leve quando comparado com madeira, pois seu peso específico varia de 5 a 9 KN/m³. Apresenta excelentes características físicas, químicas e mecânicas, além de ser um eficiente sequestrador de carbono da atmosfera e quando devidamente tratado podendo ser trabalhado como isolante térmico. No entanto, apresenta desvantagens e obstáculos para sua utilização junto ao concreto, como o baixo módulo de elasticidade, alto grau de umidade podendo ter variação dimensional provocando fissuras, dificuldade no adensamento com o concreto em virtude da sua superfície lisa e sua durabilidade curta se não for devidamente tratada devido à alta presença de amido quando em contato com o concreto.

Estudos e pesquisas com a utilização do bambu começaram no século XX. Sua utilização pode ser diretamente nas construções, no uso como andaimes, em sistema de irrigação, sistema de controle de erosão ou associado a outros materiais convencionais como a construção de paredes de pau a pique e mais recentemente a

substituição do aço em vigas de concreto armado PEREIRA (1997).

Para a produção de tubo de aço é necessário ter jazidas de minério de ferro e sua produção consome grandes quantidades de energia fóssil com emissão de gases poluentes contribuindo para o agravamento do efeito estufa. A substituição do aço pelo bambu entra no contexto de busca pela redução do gasto de energia na produção de materiais para a construção civil visto que para a produção do tubo de aço se gasta 50 vezes mais do que o bambu, encarecendo a obra.

Este artigo retrata os resultados de pesquisas realizadas sobre as propriedades físicas e mecânicas do bambu, e na possibilidade do uso deste material na construção de vigas de concreto. As pesquisas estudadas obtiveram um grande obstáculo para os ensaios de tração, compressão e cisalhamento das vigas de bambu devido a não existência de normas técnicas para este material. A [4] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT ainda não instituiu normas para o manejo e construção de concreto, porém está em elaboração duas normas técnicas, uma de projeto de estruturas e outra sobre ensaios de caracterização física e mecânica do bambu. Desde julho de 2016, o assunto mobiliza a Comissão de Estudo de Estruturas de Bambu, que atua no âmbito do Comitê Brasileiro da Construção Civil e no que depender de seus membros, esse trabalho colocará o Brasil no mesmo passo de países como Colômbia, Peru e Equador, que já dispõem de normas de construção com o material.

2. Propriedades do bambu

Os primeiros experimentos de que se tem notícia com o bambu reforçando estruturais de concreto datam de 1917 na China, Japão e Filipinas. Por volta de 1918, os chineses foram os primeiros a utilizar o bambu como substituto do aço no reforço de

concreto de pontes ferroviárias e outras construções. Esse artigo trata do bambu como material de resistência a tração equivalente ao aço sendo possível seu uso junto ao concreto armado, sendo o bambu de maior economia e com baixo consumo de energia em sua produção e efeitos positivos para o meio ambiente.

Devido a sua alta resistência a tração, [2] GHAVAMI (1995) recomendou o uso do bambu como um material alternativo, substituindo o aço, como reforço em peças de concreto. Para o autor, as melhores espécies para este fim são *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus giganteus*, respectivamente, com 170 MPa e 135 MPa de resistência a tração.

[2] GHAVAMI (1992) estudando a relação entre a resistência à tração e o peso específico para alguns materiais, constatou que o bambu é o material que apresenta um maior valor para esta relação, o que torna vantajosa a sua utilização como material de construção.

Conhecimentos sobre a deformação a flexão do bambu são necessários para sua utilização como reforço em elementos como vigas e lajes de concreto. Segundo VIJAY RAJ (1991) a camada interna do bambu é mais fraca do que a externa, sendo a última até duas vezes mais forte do que a camada interna. Ensaio realizados indicaram valores médios de resistência a tração de 140 MPa para a camada externa e 52 MPa para a camada interna. Portanto, a porção interna da parede do bambu pode ser retirada sem causar problema na resistência do mesmo.

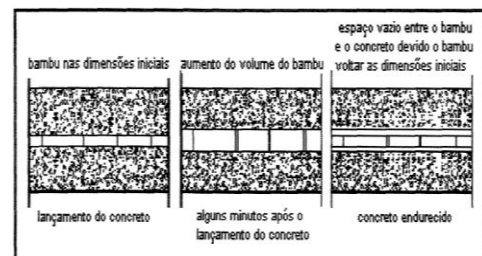
O emprego de taliscas de bambu no concreto melhora a aderência, mas traz como desvantagem na incompatibilidade química do amido (presente na parte interna do bambu) com o concreto, que no caso de colmos roliços somente aparecerá nas extremidades. Este amido neutraliza a reação química entre o cimento e a água, diminuindo a resistência do concreto.

Apesar de o bambu possuir altos valores de resistência mecânica, principalmente à tração e compressão, há muitos aspectos que na prática são dificilmente resolvidos, devendo ser estudados e normatizados para possibilitar sua aplicação. São eles: a variação do dimensionamento do bambu em função da sua alta capacidade de absorver água aumentando a umidade da peça, processos de secagem, sua resistência à compressão e a dificuldade de aderência entre bambu e outros materiais.

3. Variação dimensional do bambu

Variações dimensionais podem ocorrer no bambu devido à rápida absorção de água. O bambu, segundo VIJAY RAJ (1991), quando cortado e deixado no mesmo ambiente contém uma umidade natural entre 12 e 20% por ser um material higroscópico, isto é, quando em contato como meio aquoso, o bambu varia de dimensões. Segundo LIMA JR. (1999), esta propriedade faz com que o bambu, quando em contato com concreto fresco, absorva parte da água de amassamento e aumente suas dimensões. Após o endurecimento do concreto, este vai gradativamente liberando a água absorvida e retorna as dimensões iniciais. Com isto, a interação entre os dois materiais fica comprometida conforme mostra abaixo.

Figura 1 - Variação dimensional do bambu em contato com o concreto fresco



Fonte: LIMA Jr. (1999)

Assim, o bambu quando usado como reforço em peças de concreto pode absorver água do concreto fresco e inchar, encolhendo logo que o concreto secar, fazendo com que o bambu fique completo ou parcialmente

isolado da argamassa adjacente, causando fissuras na superfície do concreto. Recomenda-se ainda que os colmos de bambu seco sejam colocados em água dois a três dias antes da concretagem para evitar a absorção de água do concreto.

Em um ensaio de variação dimensional, [1] Ferreira, Gisleiva (2002) constatou que, devido à absorção de água, o bambu sem tratamento aumentou o seu volume em 15%.

As soluções mais empregadas para se evitar problemas devido à variação dimensional é a impermeabilização do bambu para evitar a absorção de água, podendo ser ainda associados aos cuidados de corte e de secagem adequados ao bambu.

A impermeabilização dos bambus pode ser feita com piche, tintas, vernizes, areia seca, no intuito de propiciar uma superfície mais rugosa e arame farpado. No estudo de [2] GHAVAMI com vários impermeabilizantes, o que se mostrou mais eficaz foi o Negrolin, produzido pela Sika. O bambu Gigante foi imerso durante 96 horas em água (após ter sido tratado com Negrolin) e apresentou uma taxa de absorção de apenas 4%. [2] GHAVAMI Também ressalta que a espessura da camada do impermeabilizante não pode ultrapassar o valor de 10 mm.

4. Aderência entre bambu e concreto

Lima Júnior et al. (1996) avaliaram a aderência bambu-concreto por meio de ensaios de arrancamento. Foram ensaiados 43 corpos de prova submetidos a diferentes tratamentos impermeabilizantes. Os autores concluíram que produtos derivados de petróleo, como asfalto e Negrolin, parecem ser desaconselháveis para regiões sujeitas a altas temperaturas, onde esses materiais não se solidificam de maneira adequada.

É importante salientar que, Pereira e Beraldo (2008), afirmam que se o recobrimento de impermeabilizante for

excessivo, pode-se formar uma região de baixa aderência entre o bambu e o concreto.

Os métodos mais usados para o aumento de aderência do bambu/concreto é a aplicação de piche salpicado com areia ("bambu à milanesa"), que além de propiciar a formação de uma superfície rugosa, funciona também como impermeabilizante, arame farpado pregado sobre o colmo ou a talisca, grampos de cerca cravados sobre o bambu, ranhuras feitas na casca das taliscas e também a utilização dos próprios nós do bambu para aumentar a superfície de contato com o concreto (o mais natural dos métodos)

4. Durabilidade do bambu

A vida do bambu no concreto é até certo ponto incerta. O concreto é muito alcalino (Ph = 13), sendo tal valor elevado para o bambu. Com o tempo, esta alcalinidade destrói a camada de fibras de celulose do bambu.

Para obter uma maior durabilidade do bambu é muito importante considerar a porcentagem da área da seção transversal do bambu em relação à área de concreto da peça. Ensaio realizado por MEHRA (1951), que variaram a porcentagem de bambu de 5 a 18%, concluíram que a porcentagem ideal de bambu quando trabalhado junto ao concreto é de 5 a 7,5%, mesmo quando submetido a ciclos de umedecimento e secagem.

5. Processos de secagem do bambu

GREGOIRE (1974) aponta algumas vantagens de secagem do bambu: reduz problemas causados pelas contrações e dilatações, diminui o peso, provoca a diminuição em 15% na umidade, eliminam-se os organismos que causam o mofo e a podridão, aumenta-se a resistência mecânica e facilita os trabalhos de acabamento. Podem ser feitos através de três mecanismos diferentes: a) secagem ao ar livre levando em média de 6 a 12 semanas para atingir maior

resistência e evitar fissuras; b) secagem ao fogo, onde o calor deve ser controlado de modo a evitar uma contração excessiva que pode causar fissuras e deformações na peça; c) secagem em estufa, recomendado para grande escala, é um sistema mais eficiente, porém com custo um pouco mais elevado.

6. Caracterização do bambu e métodos realizados

Em toda a pesquisa bibliográfica estudada para a produção deste artigo, todos os ensaios para o uso de taliscas de bambu como reforço de vigas de concreto armado foram produzidos corpos de prova para os ensaios de tração (para a obtenção da sua resistência, do seu módulo de elasticidade), resistência à compressão, adensamento e arrancamento.

Em estudos elaborados pela [5] UNESP (2016) foram elaborados para ensaios de tração, corpos de prova que apresentavam dimensões de 30 cm de comprimento, 2 cm de largura e 0,5 cm de espessura constituído de cimento CP II Z, brita 1, areia média e água, acrescidas com talisca de bambu. As taliscas foram instrumentadas com um extensômetro elétrico para medição de valores necessários para a construção das vigas. As peças de bambu utilizadas foram da espécie *Bambusa vulgaris*.

Foi realizado o reforço da região dos nós com outros pedaços de taliscas com comprimento de 10 cm, largura de 2 cm e espessura de 0,5cm. Foi usado para a colagem dos reforços nas regiões nodais das taliscas de bambu resina poliuretana à base de óleo de mamona. Os reforços foram colados com o intuito de melhorar a resistência da talisca na região nodal, tendo em vista que o bambu, nessa região, apresenta uma resistência bem menor se comparada à resistência da região fora dos nós. O equipamento usado para ensaiar as taliscas à tração foi uma máquina Instron EMIC, com capacidade para 30 ton.

Para os ensaios de arrancamento os corpos de prova as taliscas foram mergulhadas em uma solução de látex com aplicação de uma graxa, revestida com jornal e fita-crepe, nos 5 cm iniciais e nos 5 cm finais do comprimento da talisca que estaria imerso no concreto. Neste ensaio, 30 cm do comprimento da talisca foi imerso no concreto usado para preencher corpos de prova.

Figura 2 – Elaboração dos corpos de prova



Fonte: Tsutsumoto, Nayra Yumi – UNESP (2016)

Foram ensaiadas vigas de concreto armado sem bambu e vigas armadas com talos de bambu com e sem reforços de taliscas nos nós. Para avaliação de ensaios de flexão das vigas a porcentagem de armação de bambu utilizada em relação à seção transversal da viga de concreto armado foi de 1,61%.

Foram confeccionadas fôrmas de madeira compensada e plastificada, com dimensões de 160 cm de comprimento, 12,4 cm de largura e 15 cm de altura, para serem usadas na concretagem das vigas.

Para armadura longitudinal principal, posicionada na face inferior, foram utilizadas duas barras com diâmetro igual a 5 mm; na face superior da viga, como porta-estribos, foram utilizadas duas barras com 4.2 mm de diâmetro. Como armadura de cisalhamento, foram usados estribos com diâmetro igual a 4.2 mm, espaçados a cada 8 cm, com 2 ramos

verticais. Todas as barras usadas foram da classe CA 60 ($F_{ck} = 60 \text{ KN/cm}^2$). Para a elaboração com reforço adicional de taliscas de bambu, foram inseridas três taliscas, sendo uma na face inferior e outras duas nas faces laterais, fixadas a uma distância de 1,5 cm em relação à barra inferior, para que não houvesse problemas na concretagem.

Figura 3 – Armaduras com (à esquerda) e sem (à direita) reforço adicional de taliscas de bambu



Fonte: Tsutsumoto, Nayra Yumi –UNESP (2016)

Figura 4 – Armadura e taliscas de bambu instrumentadas com extensômetros



Fonte: Tsutsumoto, Nayra Yumi –UNESP (2016)

Os valores médios das tensões normais no instante da ruptura (ou do arrancamento) para os corpos de prova reforçados nos nós e sem reforço interno ao concreto foram de, respectivamente, 97,0 MPa e 76,5 MPa. Ou seja, a presença do reforço no nó interno ao concreto propiciou um aumento de 28%. Já os valores médios das tensões nos ensaios de arrancamento para os corpos de prova sem reforço ocorreu por arrancamento a 0,889 Mpa.

Tabela 1 – Armadura e taliscas de bambu instrumentadas com extensômetros

	Resist. à compr. axial aos 7 dias (MPa)	Resist. à compr. axial aos 28 dias (MPa)	Mód. de Elasticidade aos 28 dias (GPa)	Resist. à tração por compr. diametral aos 28 dias (MPa)	Absorção de água aos 28 dias (%)
Concreto usado nas VIGAS REFERÊNCIA	16,65 ± 0,52	25,43 ± 0,51	31,47 ± 0,65	2,71 ± 0,24	5,15 ± 1,07
Concreto usado nas VIGAS BAMBU	17,42 ± 0,13	26,35 ± 0,43	28,44 ± 1,50	3,04 ± 0,46	7,00 ± 0,14
Concreto usado nas VIGAS BAMBU REFORÇADO	16,89 ± 0,04	27,58 ± 0,95	27,93 ± 5,30	3,13 ± 0,52	4,90 ± 1,43

* Para desvios relativos máximos superiores a 6%, foram desconsiderados os valores discrepantes e calculadas novas médias, conforme prescreve o item 3.6.4 da NBR 7215 (ABNT, 1997).

Fonte: Tsutsumoto, Nayra Yumi –UNESP (2016)

Tabela 2 – Armadura e taliscas de bambu instrumentadas com extensômetros

VIGA	Momento de ruptura (kN.m) (E.L.Último)	Momento correspondente à flecha de 6 mm (kN.m) (E.L.Serviço)	Momento correspondente à flecha de 8 mm (kN.m)	
REFERÊNCIA	1	4,671	3,551	4,225
	2	4,233	3,191	3,836
	3	4,405	3,341	3,897
Média	4,436	3,361	3,986	
Desvio Padrão	± 0,180	± 0,148	± 0,171	
BAMBU	1	6,191	3,769	4,298
	2*	-	-	-
	3	6,177	3,555	4,216
Média	6,184	3,662	4,257	
Desvio Padrão	± 0,007	± 0,107	± 0,041	
BAMBU REFORÇADO	1	7,132	3,621	4,527
	2*	-	-	-
	3	6,890	3,579	4,280
Média	7,011	3,600	4,404	
Desvio Padrão	± 0,121	± 0,021	± 0,124	

* Optou-se por ensaiar a VIGA BAMBU 2 e a VIGA BAMBU REFORÇADO 2 com uma idade mais avançada, acima de 360 dias, de modo a se ter uma indicação se o tempo irá afetar a resistência das taliscas e, conseqüentemente, das vigas.

Fonte: Tsutsumoto, Nayra Yumi –UNESP

A partir dos resultados obtidos, apresentados nas tabelas acima, pôde-se verificar que o reforço adicional de taliscas de bambu impermeabilizadas com látex sem reforço nos nós proporcionou um aumento de 39,4% na resistência da viga, referente a maior carga que ela pôde suportar. Com relação às vigas de bambu com nós reforçados, pôde-se verificar que o reforço adicional de taliscas de bambu impermeabilizadas com látex e reforçadas nos nós proporcionou um aumento de 58%

na resistência da viga, referente a maior carga que ela pôde suportar.

Quanto ao ensaio de flexão das vigas, constatou-se que a colocação de talos de bambu sem reforço e reforçadas nos nós aumentaram a resistência das vigas de concreto armado em 39,4% e 58%, respectivamente, proporcionando uma melhora no seu comportamento. A ruptura das vigas ocorreu na região central, trecho onde o diagrama do momento fletor é máximo e a inclusão das taliscas nas vigas fez com que as mesmas fissurassem com uma carga menor.

Constatou-se também que o reforço nos nós das taliscas de bambu não são eficazes para a flecha de 6 mm, entretanto, os reforços nos nós começam a ser eficientes para flechas maiores, conforme verificado para a flecha de 8 mm, visto que, com o reforço, a rigidez da viga foi maior. As vigas de bambu sem reforço nos nós e as de reforço nos nós apresentaram módulos de elasticidade iguais a 7,5 MPa e 8,5 MPa, respectivamente.

Segundo TARGA e BALLARIN (1990), a determinação do Módulo de Elasticidade de um colmo maduro, seco ao ar livre, apresentou valores entre 12.500 e 19.500 MPa e valor médio de 16.000 MPa. Para algumas espécies secas em estufas, o valor pode atingir até 22.500 MPa. Já os colmos verdes geralmente atingem valores de até 10.000 MPa. Estes valores fazem com que o uso do bambu seja atrativo, especialmente se a relação entre a resistência à tração e o peso específico do bambu for considerado.

A partir do estudo feito na [3] UNESP (2010), conclui-se que o bambu aumentou a capacidade de resistência das vigas e, portanto, a redução da quantidade de aço poderia ser diminuída. Conclui-se ainda que, no que diz respeito à comparação entre a inclusão de taliscas de bambu com e sem reforço nos nós, constatou-se que o reforço aumentou a resistência das vigas em 13,4%.

[2] Ghavami (1995) em seus estudos realizou ensaios de vigas de 15cm x 30cm em seção e três metros de vão entre os apoios com e sem armadura de aço, utilizando duas porcentagens de armação de bambu em relação à seção transversal da viga 3.33% e 5% respectivamente. Além da armadura de tração e da de compressão, as vigas possuíam estribos de 5 mm de diâmetro, a cada 13cm ao longo de todo o comprimento. O concreto utilizado era de cimento Portland com traço 1:3, 22:0,78 e relação água/cimento 0,55. O Fck foi de 15 Mpa. Para a impermeabilização das peças de bambu Ghavami aplicou superficialmente nas peças de bambu duas camadas de Negrolin, colocando areia fina após passar a segunda camada de material impermeabilizante obtendo uma aderência de até 90% maior em relação ao bambu sem qualquer tratamento. A tensão de arrancamento, nesse caso, chegou a 1,8 MPa e, por essa razão, nos ensaios de vigas, esse tratamento foi adotado em todo o bambu utilizado como armadura.

Com os resultados dos ensaios concluiu-se que até 5 KN todas as vigas apresentaram comportamento linear. A partir desta carga as deformações das vigas armadas com bambu foram maiores que as das vigas armadas com aço. Esse fato foi atribuído ao baixo módulo de elasticidade a tração do bambu quando comparado ao do aço, e a uma baixa aderência que existiu entre o concreto e o bambu, mesmo este recebendo tratamento. Analisando as fissuras das vigas ensaiadas, notou-se que a viga que apresentava maior taxa de armadura em relação a outra viga, fissurou menos.

Diante dos resultados obtidos, Ghavami chegou à conclusão de que a quantidade ideal a ser empregada como reforço de vigas é uma taxa de 3% de bambu, em relação à seção transversal de concreto.

Em estudos elaborados pela [2] UNICAMP (2002), as peças de bambu utilizadas foram da espécie *Dendrocalamus*

giganteus. Após a colheita, os colmos foram cortados longitudinalmente em talos de dois metros de comprimento e colocados para secarem ao ar 50 dias. Sobre os talos foi aplicada uma camada de defensivo, dissolvido em água com a finalidade de impedir o ataque de insetos, como o *Dinoderus minutus* (caruncho ou broca do bambu). Os talos foram ensaiados na umidade ambiente e foram partidos de forma a apresentarem uma seção transversal retangular de aproximadamente 2,0 cm² de área, comprimento médio de 60 cm e sempre com dois nós, localizados cada um nas extremidades dos corpos de prova.

Para melhorar a aderência com o concreto foi enrolado arame sobre todo o contorno da talisca, seguido pela aplicação de duas camadas de Negrolin. Logo após a segunda camada, foi salpicada manualmente areia sobre o bambu. Os resultados obtidos com o tratamento de piche e areia foram piores do que os talos de bambus sem tratamento, apresentando um valor médio de tensão de arrancamento de 0,45 MPa. Este resultado pode ser atribuído à alteração da viscosidade do piche aplicado nas taliscas de bambu, acarretada pelo aumento da temperatura do concreto devido às reações químicas durante a pega.

Antes de serem feitos ensaios de flexão de vigas de bambu, foram realizados os ensaios de tração e de compressão paralela as fibras e de variação dimensional com o objetivo de caracterizar a espécie de bambu utilizada em relação as propriedades físicas e mecânicas de interesse ao emprego deste material como armadura em vigas de concreto.

Foi constatado que quando o bambu é cortado em taliscas na direção longitudinal, sua capacidade de carga é maior do que em colmos inteiros, dependendo da seção transversal das taliscas. Taliscas com larguras maiores do que 2,0 cm podem conduzir a fissuras horizontais devido ao

posicionamento das fibras do bambu serem todas ordenadas. Também devem ser utilizados colmos com diâmetros maiores que 10 cm para eliminar problemas de curvatura da parede do colmo, o que pode causar esmagamento das fibras na compressão normal. Os objetivos dos ensaios de tração paralela feitos foram a obtenção dos valores da tensão de Ruptura e do Modulo de Elasticidade das peças de bambu, neste caso da espécie *Dendrocalamus giganteus*. Estes dados foram necessários para o dimensionamento das vigas executadas, determinando a seção transversal da armadura de bambu e sua porcentagem. Os valores das cargas aplicadas foram lidos diretamente no manômetro da prensa, enquanto que as deformações foram obtidas através de extensômetros elétricos colados no corpo-de-prova e ligados a um aquisitor de dados.

Para a confecção dos corpos-de-prova utilizou-se um concreto com o traço 1:3:3 e relação água/cimento de 0,6, que foi o mesmo utilizado na concretagem das vigas. Os mesmos foram vibrados em mesa vibratória localizada no laboratório e ensaiados com idade de 14 dias. Para caracterização do concreto utilizado nos corpos de prova de arrancamento foram moldados seis corpos de prova cilíndricos de 15cm x 30cm. Com estes corpos de provas foram realizados ensaios para determinação da resistência a compressão, modulo de elasticidade e resistência à tração por compressão diametral. Esses ensaios foram realizados na mesma data do ensaio de arrancamento. A prensa utilizada neste ensaio foi uma Versa Tester capacidade máxima de 150t e sensibilidade de 125 kgf. A mesma foi adaptada para o ensaio de arrancamento.

O objetivo do ensaio de compressão paralela às fibras foi determinar um valor médio para a Tensão de Ruptura a Compressão da espécie de bambu estudada. Para este ensaio foram realizados cinco

corpos de prova com a seção transversal de 2 cm² em média e comprimento médio de 7 em. A tensão de ruptura foi obtida pela carga aplicada dividida pela área da seção transversal do corpo de prova. Os corpos de prova se romperam na direção axial. As amostras foram ensaiadas em uma prensa com aplicação de carga manual, cuja carga máxima era de 50 KN e sensibilidade de 0,01 mm. Na tabela 2 são apresentadas as dimensões dos cinco corpos de prova ensaiados, a umidade no momento do ensaio, além dos valores da carga de ruptura para cada corpo de prova e sua correspondente tensão de ruptura a compressão paralela. O valor utilizado para o cálculo das vigas foi o valor médio de tensão de ruptura, também apresentado na tabela.

Tabela 3 – Características físicas e mecânicas dos corpos de prova ensaiados a compressão

CP	ÁREA (mm ²)	COMP. (mm)	RUPTURA(kN)	σ_{rup} (MPa)	U (%)
1	136,09	67,61	10.532	77,39	14,44
2	118,12	65,03	9.130	77,30	13,66
3	112,25	66,66	8.587	76,50	13,05
4	112,26	71,26	8.804	78,43	13,26
5	123,83	67,14	9.782	79,00	13,28
			Média	77,72	13,54

Fonte: Ferreira, Gisleiva – UNICAMP (2002)

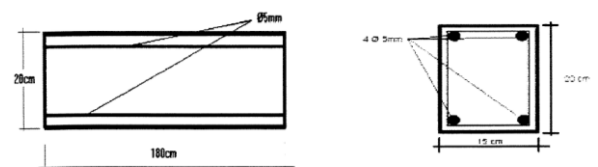
Depois de serem caracterizados os materiais utilizados na pesquisa da UNICAMP foram executadas as vigas de concreto reforçadas com bambu. Foram realizadas seis vigas de concreto, sendo uma delas armada apenas com aço e as demais armadas com aço e taliscas de bambu. As vigas foram posicionadas em um pórtico, no qual foram aplicadas as cargas até a ruptura das mesmas.

As vigas confeccionadas tinham seção transversal retangular, com base de largura de 15 cm, altura de 20 cm e comprimento de 180 cm. O cobrimento adotado foi de 1,5 cm em todos os lados. Para a confecção dos estribos foi usado aço CA-60 de diâmetro 4,2 mm. Todas as vigas tiveram armadura transversal superdimensionadas com a finalidade de que não ocorresse ruptura por cisalhamento.

Com isso, todas as vigas apresentavam estribo a cada 10 cm. Para melhorar a aderência bambu/concreto, as vigas 3, 4 e 6 receberam em suas armaduras longitudinais de bambu uma camada de verniz e a de arame farpado. Este tratamento foi escolhido após análise dos resultados do ensaio de arrancamento, que indicou este método como o que mais aumentou a aderência entre os dois materiais.

A viga 1 foi executada somente com armadura longitudinal dupla de barras de aço, semelhante a armadura tradicional em vigas de concreto armada com a finalidade de comparação de valores com as vigas reforçadas com bambu.

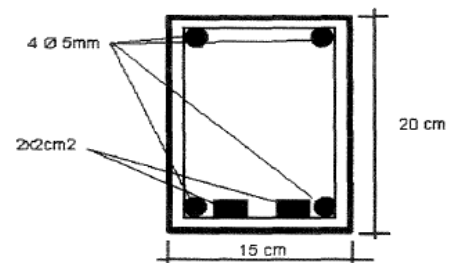
Figura 5 – Posicionamento de armadura na viga 1 ensaiada



Fonte: Ferreira, Gisleiva – UNICAMP (2002)

A viga 2 recebeu a mesma armadura longitudinal que a viga 1, acrescida de taliscas de bambu sem nenhum tipo de tratamento de impermeabilização posicionada na parte inferior (tração) da viga.

Figura 6 – Posicionamento de armadura na viga 2 ensaiada.

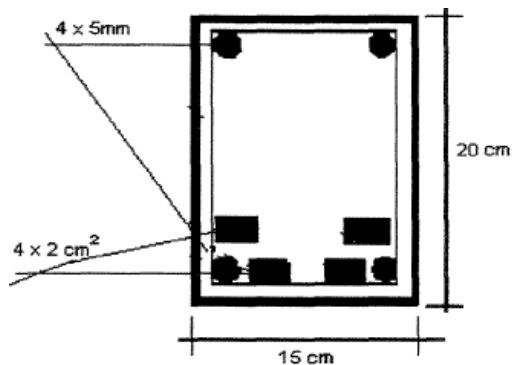


Fonte: Ferreira, Gisleiva – UNICAMP (2002)

A viga 3 recebeu a mesma armadura de aço que a viga 2 acrescida de taliscas de bambu com tratamento de

impermeabilização e acréscimo de aderência de verniz com anéis de arame farpado.

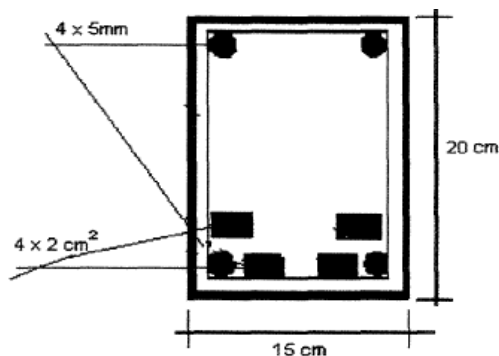
Figura 7 – Posicionamento de armadura na viga 3 ensaiada.



Fonte: Ferreira, Gisleiva – UNICAMP (2002)

A viga 4 recebeu a mesma armadura que a viga 3, porém com mais uma camada de taliscas de bambu distante 5cm da camada inferior, também com tratamento de verniz e anéis de arame farpado.

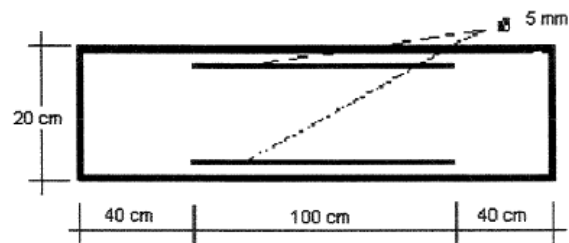
Figura 8 – Posicionamento de armadura na viga 4 ensaiada.



Fonte: Ferreira, Gisleiva – UNICAMP (2002)

A viga 5 foi composta pela mesma armadura da viga 2, mas o comprimento das taliscas de bambu foi apenas de 100 cm localizada na parte inferior e central da mesma. Isto foi feito para se determinar aderência do bambu ao concreto sem ancoragem da armadura.

Figura 9 – Posicionamento de armadura na viga 5 ensaiada.



Fonte: Ferreira, Gisleiva – UNICAMP (2002)

A viga 6 foi composta da mesma armadura e posicionamento da viga 5, porém com tratamento de impermeabilização com verniz e anéis de arame farpado. O carregamento das vigas foi realizado nos terços do vão com acréscimo de carga de 2 KN.

Em relação à tensão de ruptura na tração paralela as fibras, o valor obtido foi aproximadamente 190 MPa, demonstrando que esta espécie realmente pode ser utilizada quando submetida a esforços deste tipo, sendo considerado um valor alto por ser um material natural.

Uma das dificuldades de utilização do bambu como reforço nas vigas de concreto é seu baixo Modulo de Elasticidade em relação ao concreto, o que ocasiona excessiva deformação nas peças de concreto. Isto foi comprovado neste ensaio, aonde se chegou ao valor de 22.195 MPa, cerca de 1/10 do valor do Modulo de Elasticidade do aço. No que se refere a tensão de ruptura à compressão, o valor encontrado foi de aproximadamente 80 MPa. O ensaio de Variação Dimensional confirmou a necessidade de um tratamento de impermeabilização no bambu, pois a variação volumétrica da ordem de 15% inviabiliza a utilização do bambu natural, interferindo prejudicialmente na união bambu/concreto.

Portanto, a tensão máxima de arrancamento foi estabelecida como sendo a tensão atuante no bambu quando o deslizamento deste no concreto atinge 0,5 mm. No ensaio de arrancamento, o bambu

sem tratamento chegou ao valor médio de 0,70 MPa, resultado considerado baixo, devido sua grande variação dimensional quando em contato com umidade.

Dos tratamentos aplicados, o que apresentou melhores resultados foi o envolvimento com verniz, na função de impermeabilizante e anéis de arame farpado, para aumentar a aderência, obtendo-se uma tensão de arrancamento de 1,25 MPa, aproximadamente 80% maior que no bambu sem tratamento.

Contrariamente à literatura pesquisada, os resultados obtidos com o tratamento de piche e areia foram piores do que os bambus sem tratamento, apresentando um valor médio de tensão de arrancamento de 0,45 MPa. Este resultado pode ser atribuído à alteração da viscosidade do piche aplicado nas taliscas de bambu, acarretada pelo aumento da temperatura do concreto devido às reações químicas durante a pega.

A análise dos resultados mostrou a eficiência do bambu quando utilizado como armadura longitudinal. O simples acréscimo de 8,0 cm² de seção transversal de armadura de bambu fez com que a carga de ruptura da viga quadruplicasse, passando de 18 KN (Viga 1) para 74,40 KN (Viga 4) acréscimo de taliscas de bambu sem ancoragem aumentou a carga de ruptura em 40% (Viga 5) e 60% (Viga 6) em relação a Viga 1. Assim, pode-se concluir que o aumento da resistência das vigas armadas com bambu não foi apenas devido à ancoragem da armadura, mas também devido ao mecanismo de incremento de aderência utilizada.

7. Conclusões

Diante da necessidade da substituição de materiais mais caros e que agridem ao meio ambiente através da sua produção, o bambu aparece como uma alternativa para a substituição do aço em estruturas de concreto, visto que seu crescimento é mais rápido do que a madeira, é um material leve,

apresenta excelentes propriedades físicas, químicas e mecânicas, além de ser um eficiente sequestrador de carbono da atmosfera, sua resistência à tração e compressão são comparadas ao aço e é amplamente encontrado no Brasil, reunindo 81 % dos gêneros de bambu. No que diz respeito à comparação entre a inclusão de taliscas de bambu com e sem reforço nos nós, constatou-se que o reforço nos nós aumentou a resistência das vigas de concreto armado em 58%, proporcionando uma melhora no seu comportamento. O bambu deve ser cortado em taliscas na direção longitudinal, onde sua capacidade de carga é maior do que em colmos inteiros. Também devem ser utilizados colmos com diâmetros maiores que 10 cm para eliminar problemas de curvatura da parede do colmo e não causar esmagamento das fibras na compressão normal.

Ressalta-se a importância do correto tratamento e manejo das peças de bambu, sendo colhidas na época da seca, sendo aplicada uma camada de produto para a proteção do bambu frente ao caruncho. O processo de secagem foi visto como essencial para a redução da alta taxa de umidade do bambu interferindo na boa aderência com o concreto.

Foi confirmada a necessidade de tratamento de impermeabilização nas peças usadas, pois a variação volumétrica é da ordem de 15% e que os melhores métodos de impermeabilizante para a melhor aderência do bambu com o concreto foram o de camada de verniz com anéis de arame farpado seguido de camada de areia, obtendo-se uma tensão de arrancamento de 1,25 MPa, aproximadamente 80% maior que no bambu sem tratamento. Em relação aos valores de tensão nos ensaios de arrancamento foi concluído que deve se reforçar os nós das taliscas de bambu visto seu melhor desempenho em 28%. Para regiões de clima quente o uso de Negrolin

como impermeabilizador não é indicado, pois não se solidificam de maneira adequada.

Os valores obtidos para tração e compressão foram favoráveis ao uso do bambu como reforço estrutural frente ao concreto. No que se refere à tensão de ruptura à compressão, o valor encontrado foi de aproximadamente 80 MPa. As espécies que apresentaram maiores valores de resistência a tração foram *Bambusa vulgaris* e *Dendrocalamus giganteus* com valores de 170 MPa a 190 MPa respectivamente demonstrando que esta espécie realmente pode ser submetida a esforços deste tipo, sendo considerado um valor alto, por ser um material natural.

Conclui-se, diante de todas as pesquisas realizadas a partir das pesquisas bibliográficas a eficiência do bambu quanto a sua utilização como armadura longitudinal em reforço de vigas de concreto armado. Portanto, a redução da quantidade de aço poderia ser diminuída, levando em relação ao custo benefício que o bambu tem frente ao aço, visto seu baixo custo e propriedades físicas e mecânicas comprovadas nos ensaios de flexão capazes de atuar como reforço estrutural nas vigas de concreto armado.

8. Referências

[1] Ferreira, Gisleiva Cristina dos Santos Vigas de concreto armadas com bambu/ Gisleiva Cristina dos Santos Ferreira, Campinas, SP: [s.n.], 2002. Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Faculdade de Engenharia Civil.

[2] Ghavami, K. Bambu: um material alternativo na engenharia. *Engenharia* (492): 23 - 27, 1992.

[3] Baganha Alfredo; Kozlowiski Leonardo; Campos Rodrigo. *Revista ciências do ambiente on-line* julho, 2009 volume 5, número 1. Utilização de bambu na construção civil – uma alternativa ao uso de madeira.

[4]http://www.abnt.org.br/images/boletim/2018/JanFev/Boletim_ABNT_161_jan_fev_2018

[5] Tsutsumoto, Nayra Yumi. Avaliação do comportamento estrutural de vigas de concreto armado com taliscas de bambu reforçadas nos nós. Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia - UNESP - para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. 2016.

[6] Gonçalves, Dayana Carmo, ISSN 2179-5568 – Revista Especialize On-line IPOG - Goiânia - 7ª Edição nº 007 Vol.01/2014 julho/2014 Construção civil sustentável: A utilização do bambu em Divinópolis Minas Gerais.

[7] Ferreira, G.C.S. Vigas de Concreto Armadas com Bambu. São Paulo. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual de Campinas, SP, 2002

[8]http://www.pucrio.br/pibic/relatorio_resumo2006/relatorio/CTC/Civ/Bruno%20Moira%20Longuinho.pdf

Os textos submetidos devem estar em língua portuguesa, assim como as tabelas, figuras e quadros.

É importante que o autor, ao submeter um arquivo para avaliação, mantenha também uma cópia deste em sua posse. Ao submeter o trabalho, ele deve estar acompanhado de uma cópia sem identificação dos autores e acompanhado do termo de autorização da publicação devidamente preenchido e assinado pelo autor principal.

Caso os autores utilizem tabelas, figuras ou quadros de outras Publicações, devem solicitar aos editores correspondentes o direito de publicar este material em seu trabalho.

Palavras estrangeiras devem ser grifadas em itálico. Não use letras negritas ou letras maiúsculas, exceto para os cabeçalhos das seções (ver observações sobre os cabeçalhos de seção abaixo).

2. Desenvolvimento do Texto

O texto do artigo deve ser limitado a um mínimo de quatro mil palavras e um máximo de oito mil palavras. Ele deve ser limitado também a um número mínimo de 8 páginas e máximo de 12 páginas. A estrutura do artigo é dividida em seções e subseções, conforme disposto na NBR 6024, que variam em função da abordagem do tema e do método.

Os títulos das seções e das subseções devem ser escritos com fonte Calibri 12, em negrito, tendo a primeira letra da frase

maiúscula e devem numerados de acordo com o fluxo dos capítulos e dos subtítulos, como no caso a seguir:

1.1 Exemplo 1.1

1.2 Exemplo 1.2

1.2.1 Exemplo 1.2.1

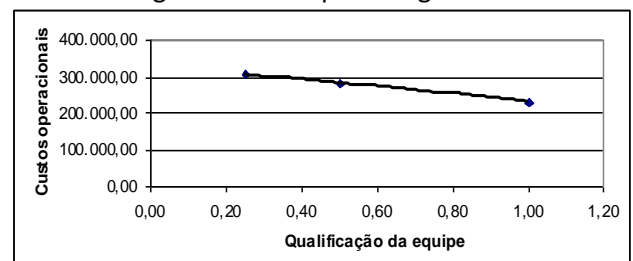
Os parágrafos devem ter espaçamento de simples + 6pt antes e a numeração das páginas deve ser inserida no cabeçalho de cada página, na parte direita.

3. Tabelas, Figuras e Quadros.

As figuras contidas no artigo devem ser inseridas o mais próximo possível do local onde estão referenciadas. Elas devem ser identificadas na parte superior da imagem, sendo precedidas pela palavra designativa da ilustração, juntamente com seu número de ocorrência no texto, em algarismos arábicos.

Após a identificação da imagem, na parte inferior desta, é obrigatória a indicação da fonte consultada, mesmo que esta tenha sido de autoria do próprio autor. É importante a adição de um espaço adicional ao parágrafo, anteriormente à descrição da imagem, para que esta não se confunda com o fluxo do texto. Tanto a descrição da imagem quanto a sua referência deve ser realizada com fonte Calibri 11, conforme figura 1 de exemplo. Q corpo do interno da figura deve ser em fonte Calibri 10.

Figura 1 – Exemplo de figura



Fonte: SILVA [1]

As tabelas e quadros do artigo devem ser identificados na parte superior destes, sendo a indicação da fonte consultada realizada na

parte inferior do quadro ou tabela apresentado. Tanto a descrição da tabela ou quadro deve ser realizada com fonte Calibri, O corpo interno da tabela deve ser em fonte Calibri 10.

Quadros, tabelas e figuras relevantes para o artigo, mas que não sejam de tamanho adequado para a diagramação em duas colunas, devem ser inseridas como anexo ou apêndice e indicadas no corpo do texto, conforme tabela 1 exemplo no ANEXO A.

4. Citações

As referências devem ser citadas no texto por meio de colchetes [3].

As citações diretas, no texto, com mais de três linhas, devem ser destacadas com recuo de 0,75 cm da margem esquerda da coluna, com letra em Fonte Calibri 11 itálico e sem aspas, conforme a seguir:

A teleconferência permite ao indivíduo participar de um encontro nacional ou regional sem a necessidade de deixar seu local de origem. Tipos comuns de teleconferência incluem o uso da televisão, telefone, e computador. (p. 181) [4]

Duas ou mais referências de cada vez podem ser colocadas em um conjunto de colchetes [4,5]. As referências devem ser numeradas na ordem em que são citadas no texto e devem ser listadas no final da contribuição sob o título Referências, conforme o item a seguir.

5. Referências

A lista de referências deve possuir um espaçamento de parágrafo 6 pt - antes.

Exemplos:

Referência de um livro ou trabalhos acadêmicos (monografias, dissertações, teses, boletins técnicos, entre outros):

- [1] SILVA, L. G. Diretrizes editoriais para artigos técnicos. Rio de Janeiro: UFRJ, 2019.

Referência de um artigo e/ou matéria de revista:

- [2] SANTOS, S. G. Diretrizes para artigos técnicos. Gestão e Gerenciamento, Rio de Janeiro, n. 120, p.40-42, 2019.

Referência à legislação:

- [3] BRASIL. Lei no 9.887, de 7 de dezembro de 1999. Altera a legislação tributária federal. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 8 dez. 1999.

Referência à norma:

- [4] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10520: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

Referência de um artigo e/ou matéria de revista, em meio eletrônico:

- [5] SOUZA, L. C. Diretrizes para artigos técnicos. Gestão e Gerenciamento, Rio de Janeiro, n. 120, p.40-42, 2019. Disponível em:<http://nppg.org.br/revistas/boletim_dogerenciamiento/diretrizes>. Acesso em: 28 nov. 2018.

7. Anexos e Apêndices

ANEXO A

Tabela 1 – Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa

Item	Qtd.	Percentual
Teoria social	22	7,9%
Método	34	12,3%
Questão	54	19,5%
Raciocínio	124	44,8%
Método de amostragem	33	11,9%
Força	10	3,6%

Fonte: MAYS (1997, p. 26) [2]