



Geovana Pires Lima <sup>(a)</sup>, Celson Fornari <sup>(b)</sup> Malu Aquino <sup>(c)</sup> Pedro Figueredo <sup>(d)</sup>

(a) gpalima@uesc.br

(b) celso@uesc.br

(c) mmalumonteiro@gmail.com

(d) pedropaulofiguereado99@hotmail.com

## APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PDCA NO DESENVOLVIMENTO DE COMPÓSITOS BIODEGRADÁVEIS DE FIBRA DE COCO E AMIDO MODIFICADO

### RESUMO

*O presente estudo apresenta o desenvolvimento de um material compósito com amido modificado e fibra vegetal. Para tal, foi necessário a execução de uma série de etapas e ajustes, para se alcançar e garantir a conformidade na concepção do novo material. Para auxiliar o processo, utilizou-se a metodologia da qualidade PDCA (planejar, fazer, checar e agir) que garantiu a minimização do tempo de desenvolvimento e a sequência de passos para obter um material mais adequado em termos de propriedades e possível de ser replicado. Desta forma, pôde-se estruturar o desenvolvimento da manufatura do compósito na etapa inicial do trabalho com otimização do tempo e objetividade na busca das soluções. O trabalho implementou cinco ciclos da metodologia para alcançar o objetivo proposto, em que foi engendrado um compósito constituído na proporção de 2 partes de fibra de coco, 1 parte de amido e 5 partes de água, na temperatura de 90 °C pelo tempo de aproximadamente 6 horas..*

**Palavras-chave:** *Qualidade. Compósito. Amido. PDCA. Fibra Vegetal*

## APPLICATION OF THE PDCA METHODOLOGY IN THE DEVELOPMENT OF BIODEGRADABLE COMPOSITS OF COCONUT FIBER AND MODIFIED STARCH

### ABSTRACT

*The present study presents the development of a composite material with modified starch and vegetable fiber. To this end, it was necessary to carry out a series of steps and adjustments to achieve and ensure conformity in the design of the new material. To assist the process, used the PDCA quality methodology (plan, do, check and act) that ensured the minimization of development time and the sequence of steps to obtain a material more suitable in terms of properties and possible to be replicated. In this way, it was possible to structure the development of the manufacture of the composite in the initial stage of the work with optimization of time and objectivity in the search for solutions. The work implemented five cycles of the methodology to reach the proposed objective, in which a composite consisting of 2 parts of coconut fiber, 1 part of starch and 5 parts of water was created, at a temperature of 90 °C for a time of approximately 6 hours.*

**Keywords:** *Quality. Composite. Starch. PDCA. Vegetable Fiber.*

## 1. Introdução

A busca por alternativas sustentáveis é uma preocupação dos dirigentes mundiais na direção de manter a continuidade do modelo econômico de desenvolvimento. Iniciou-se, portanto, a construção de estratégias voltadas a elevar o nível do projeto econômico sustentável, buscando-se alternativas e aplicando esforços em vários setores produtivos desde a agroecologia saúde até a indústria (CAPORAL, 2016; DIAS, 2016; DALCHIAVON; BAÇO; MELLO, 2017; FONTANA *et. al.*, 2015)

O crescimento populacional é um fenômeno social que alcança a maioria dos países do planeta. A partir da metade do século XX a explosão demográfica registrou altas taxas de crescimento, sendo que em alguns países subdesenvolvidos a taxa populacional dobrou em menos de três décadas (FONTANA *et al.*, 2015). Para a situação do Brasil, a projeção de crescimento populacional aponta para um número em torno de 253 milhões até o ano de 2050, elevando-o ao ranking de 5º país mais populoso do mundo (MIRANDA; MENDES; SILVA, 2016). Para este cenário de crescimento positivo, os setores da sociedade precisam se ajustar e aplicar esforços para suprir as futuras demandas voltadas à sua população, com objetivo de promover um modelo produtivo sustentável (STOFFEL; COLOGNESE, 2015; ALVES, 2017).

As formas viáveis para o modelo produtivo sustentável percolam o suprimento de matérias-primas alternativas, com características preferencialmente renováveis. Os biopolímeros são uma classe de materiais poliméricos que advêm de fontes naturais e renováveis. Entre os diversos materiais que compõem esta classe estão os amidos (FARIAS *et al.*, 2016). Os amidos são materiais que apresentam baixo custo, produção agrícola com baixo impacto negativo quanto ao produto principal e resíduos. O amido é um polímero natural que apresenta uma cadeia com hidroxilas capazes de formar ligações do tipo pontes de hidrogênio, tanto inter quanto intramoleculares (SANTOS; FORMIGA; SILVA, 2016; OLIVEIRA, 2019).

Neste sentido, a utilização de materiais sustentáveis é uma alternativa que muitos pesquisadores estão buscando para o desenvolvimento de novos materiais. O desafio de desenvolver materiais a base de amido modificado está na melhoria de suas propriedades mecânicas. A fração de amilose que faz parte da formação do amido, rompe suas ligações originais com o hidrogênio e forma

novas ligações com o plastificante. Assim a cristalinidade do amido é desfeita e propicia a sua gelatinização. Apesar de possuir caráter biodegradável, esses materiais para a sua conformação, exigem um processamento mais cuidadoso e específico (REIS *et al.*, 2016; AZEVEDO; SÁ; FUNGARO, 2018).

Com isso, na busca por uma alternativa sustentável para o suprimento de materiais na engenharia, o amido modificado em associação com as fibras vegetais pode trazer uma contribuição relevante e promissora. Entretanto, o processamento deste compósito passa pela transformação química da amilose, bem como a influência da presença da fibra vegetal. Na direção de desenvolver um material com modificações químicas e físicas que possa apresentar propriedades desejáveis, mostrou-se salutar a aplicação de uma metodologia de melhoria contínua na área da qualidade, na tentativa de alcançar resultados consistentes, com um diagnóstico ativo na superação de obstáculos pertinentes à construção do novo material.

A melhoria contínua sugere nesse aspecto uma possibilidade para alcançar uma maior qualidade no produto final, aliada a eliminação de desperdícios, redução de falhas e de custos de produção por meio do gerenciamento de processos, tornando-se possível identificar e melhorar o desempenho quando este não satisfaz os objetivos estabelecidos.

Neste contexto, a utilização da metodologia PDCA se faz imprescindível para atingir a excelência operacional e a continuidade dos esforços de melhoria, por meio da redução de não conformidades, além de propiciar a busca por resultados aprimorados (SILVA *et al.*, 2017).

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo desenvolver um material compósito biodegradável, utilizando amido modificado e fibra vegetal. Devido a necessidade da realização de uma série de etapas e ajustes, para alcançar e garantir a adequação no desenvolvimento do novo material, tornou-se imprescindível a utilização da metodologia da qualidade PDCA, a fim de obter uma minimização do tempo de desenvolvimento e um material em conformidade em termos de propriedades e possível de ser replicado.

## 2. Referencial Teórico

Nesta seção são apresentados os temas norteadores da pesquisa, que consistem em: Qualidade, Gestão da Qualidade e Ciclo PDCA.

## 2.1. Qualidade

A qualidade surgiu em função das inúmeras inconformidades encontradas em produtos bélicos e militares durante a primeira guerra mundial (WERKEMA, 1995). E o conceito de qualidade evoluiu conforme à exigência da demanda populacional por produtos mais particularizados, em que os modelos teóricos que se desenvolveram são complementares e representam à maturação dessa área, buscando elementos importantes para a qualidade moderna como a conformidade, padronização do produto e a metrologia (SANTOS *et al.*, 2019).

Os principais autores da qualidade, também referidos como os “gurus” da qualidade, conceituam-na como: “qualidade é a adequação ao uso” (JURAN, 1990), “a qualidade de um produto ou serviço está condicionada ao grau de satisfação e conveniências do consumidor final” (GARVIN, 1992), “atender e se possível superar a expectativa do cliente” (DEMING, 1975), “atender aos requisitos (zero defeitos)” (CROSBY 1990), “grau de conformidade com a especificação, ou seja, o compromisso com a excelência (*Total Quality Control*)” (FEIGENBAUM 1986).

De uma forma geral, a qualidade busca satisfazer as necessidades dos clientes. Pela perspectiva do usuário, os produtos ou serviços devem estar em conformidade com os requisitos e adequados ao uso, e pela perspectiva da produção, a qualidade é inversamente proporcional à variabilidade (MONTGOMERY, 2016).

## 2.2. Gestão da Qualidade

A Gestão da qualidade pode ser entendida como a aplicação sistemática de um conjunto de atividades que orientam e controlam a organização abrangendo o planejamento, controle, a garantia e melhoria da qualidade (CARVALHO; PALADINI 2012).

A norma NBR ISO 9000:2000 revela que o sucesso da organização pode estar associado a gestão da qualidade, por meio de um processo de melhoria contínua e apresenta oito princípios de gestão de qualidade: foco no cliente, liderança, envolvimento de pessoas, abordagem de processo, abordagem sistêmica para a gestão, melhoria contínua, abordagem factual para a tomada de decisão, benefícios mútuos nas relações com os fornecedores.

É importante salientar que a Gestão de Qualidade Total é uma ferramenta de gestão que

visa a melhoria contínua em todas as áreas da organização (SANTOS *et al.*, 2019). Esse processo de melhoria contínua se trata de um processo gradativo com constantes mudanças, sem necessidade de substituição ou modificação de um todo, mas sim a eliminação de desperdícios, priorizando uma maior qualidade dos produtos (GOZZI, 2015).

A abordagem utilizada neste trabalho é uma metodologia da gestão da qualidade, que constitui de técnicas, procedimentos e métodos com o objetivo de melhorar os processos e produtos por meio de um ciclo de melhoria contínua, PDCA, que apresenta quatro fases bem definidas que são descritas na subseção 2.3.

## 2.3. Ciclo PDCA

A metodologia denominada PDCA, que significa *Plan, Do, Check, Action* (Planejar, Fazer, Verificar e Agir) é uma metodologia da qualidade, de melhoria contínua, que auxilia no desenvolvimento de produtos, principalmente quando ocorre a necessidade de orientação de tarefas em sequência para gerenciar uma ação específica.

Para Amaral *et al.* (2017), o PDCA tem ganhado espaço nas empresas por conta da sua comprovada eficiência como metodologia para busca da melhoria contínua. Esta é uma das metodologias de gestão comumente usada nesses processos em razão da simplicidade de monitoramento e aplicação, visto que um dos pressupostos da metodologia é o controle dos resultados e correções dos desvios. Contudo, é de suma importância o entendimento de cada etapa do processo e a definição dos objetivos que devem ser alcançados com exatidão, para que seja possível ter foco e visão clara dos resultados obtidos (GOUVEIA *et al.*, 2017).

Na metodologia PDCA, é importante a regularização sistemática das atividades, seguindo os objetivos substanciais para o alcance pleno da formação do novo material. O ciclo PDCA orienta a sequência de atividades que devem ser realizadas para alcançar o objetivo vislumbrado, com o intuito de incrementar a qualidade, em um processo de melhoria contínua. O PDCA apresenta quatro fases bem definidas e sequências, que consistem em (FORNARI JUNIOR, 2010; GOMES FILHO; GASPAROTTO, 2019):

- Planejamento (PLAN): A primeira etapa do ciclo, visa definir os objetivos e os processos necessários para promover os resultados conforme os objetivos almejados, por meio da identificação e

análise do problema, determinação de metas, a análise do processo e a concepção do plano de ação;

- Fazer (DO): Nesta etapa são implementadas, de maneira sistemática, as atividades definidas no plano de ação engendrado na fase anterior;
- Checar (CHECK): Nesse momento, após a execução, é realizada a verificação da eficácia das ações tomadas e evidenciadas as possibilidades de melhoria;
- Agir (ACT): A última etapa do ciclo é a de atuação. Após a checagem realizada na etapa anterior é analisado se os objetivos foram atingidos. Caso isso ocorra, os procedimentos implantados na fase “fazer (DO)” são padronizados, caso contrário, deve-se solucionar os problemas identificados, e o ciclo é reiniciado em um processo de melhoria contínua.

A organização dos resultados e planejamentos subsequentes está delimitada pela metodologia, alinhando os resultados e avanços obtidos com a próxima meta a ser definida e alcançada. Isso propicia uma organização e direção única, no sentido de alcançar resultado desejado. Evidentemente, para ser atingido o

objetivo pleno, se faz necessário a superação de várias etapas preliminares, que são barreiras intrínsecas do próprio desenvolvimento do material (RAPÓSO *et al.*, 2019).

A metodologia de gerenciamento visa estabelecer qual a melhor e mais correta decisão deve ser tomada. Logo, pode permitir o alcance positivo das etapas preliminares no desenvolvimento do novo produto. Isso permite uma avaliação mais apurada e específica dos resultados obtidos no desenvolvimento e qual a direção mais adequada para a próxima tomada de decisão (PAULA *et. al.*, 2019). Com isso, podem ser realizadas as modificações pertinentes em fase incipiente do desenvolvimento do produto, reduzindo seu custo e maximizando as chances de êxito. Consequentemente, incrementa a vantagem competitiva da organização (ISHIDA; OLIVEIRA, 2019).

### 3. Materiais e Métodos

De acordo com Fontelles *et al.* (2009) as pesquisas podem ser classificadas quanto à finalidade, natureza, forma de abordagem, objetivos e procedimento técnicos. Desta forma, a Tabela 1 apresenta a classificação do presente estudo

Tabela1 – Classificação do estudo

CLASSIFICAÇÃO	ENQUADRAMENTO DO ESTUDO
Quanto à finalidade	Pesquisa aplicada ou tecnológica
Quanto à natureza	Pesquisa experimental
Quanto à forma de abordagem	Pesquisa quantitativa
Quanto aos objetivos	Pesquisa explicativa
Quanto aos procedimentos técnicos	Pesquisa laboratorial

Fonte: Os Autores

Os procedimentos empregados para a realização do estudo são descritos a seguir: As fibras de coco moídas foram obtidas industrialmente e posteriormente peneiradas em malha de 35 mesh. Em um becker, foram acondicionadas 1 parte em peso de amido para 5 partes em peso de água, e posteriormente aquecidas em micro-ondas de 1200W pelo tempo de um minuto, suficiente para a gelatinização da mistura. Após o aquecimento, foram adicionadas 2 partes em peso de fibra moída em relação ao amido e adicionadas ao becker, isto é, 1:2 (amido:fibra). Os materiais foram misturados com auxílio de uma espátula até a homogeneização completa. Para a obtenção das amostras foram utilizados moldes de alumínio revestidos com uma camada de parafina líquida, como forma de evitar a

aderência. Após a formação do corpo de prova, estes foram posicionados sobre uma folha de papel, para proporcionar o manuseio.

A mistura amido/água/fibra foi transferida do becker para o molde, e levemente compactada manualmente com auxílio de uma espátula. Em seguida, a mistura foi prensada em prensa hidráulica marca Solab, modelo SL 11 por três minutos com 0,1 Kgf/cm<sup>2</sup> em temperatura ambiente. Depois, os corpos de prova moldados foram retirados manualmente dos moldes e levados imediatamente para o processo de aquecimento. Para o processo de aquecimento dos corpos de prova, foi utilizado um aquecedor TE-0851 da marca Tecnal, onde os corpos de prova ficaram dispostos cinquenta milímetros acima da superfície aquecida com o auxílio de uma tela metálica devidamente adaptada para

este propósito. O processo de aquecimento ocorreu por seis horas em temperatura de 90 °C. Os corpos de prova foram pesados em tempos programados com auxílio de uma balança marca Marte modelo M2K com duas casas decimais.

#### 4. Resultados e Discussões

O processamento de compósitos com amido modificado envolve uma série de etapas necessárias para alcançar a formação das propriedades do novo material. A estruturação do novo composto passa por etapas de modificação do amido e que são classificadas em: estado de pasta, retrogradação, anelado, gelatinização, estado de gel e geleificação (DENARDIN; SILVA, 2009). O estado de pasta é promovido pelo inchamento do grânulo em presença de excesso de água. A amilopectina é a responsável pela formação da fase dispersa com a presença da amilose na sua forma cristalina. No processo de retrogradação ocorre a organização molecular das cadeias do amido gelatinizado. Com temperaturas abaixo da temperatura ideal da gelatinização pode ocorrer uma reorganização e reorientação do amido, permitindo uma diferente conformação das moléculas. Esse processo é denominado de anelado.

A gelatinização é o resultado da decomposição irreversível das estruturas cristalina na presença de água. O estado de gel é a separação da fase contínua constituída pelas cadeias de amido e a fase dispersa pelo solvente. A geleificação é uma modificação substancial que pode ocorrer no amido modificado. Isso resulta em separação de fases e pode proporcionar modificações das propriedades e tendência a aumentar o processo de retrogradação.

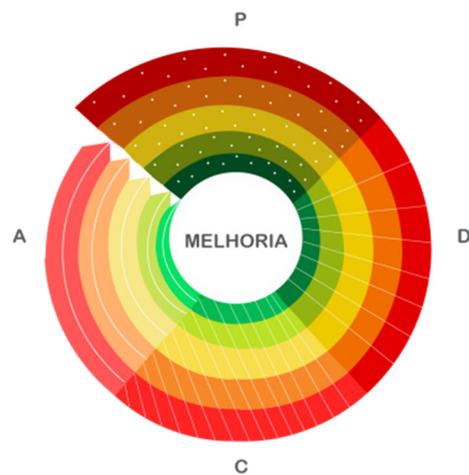
A amilose pode formar complexos com substâncias polares em presença de água e calor. Essa formação tem caráter reversível (CEREDA, 2002; SANTOS; SARON, 2017).

Os amidos nativos não possuem caráter termoplástico, devido a presença de ligações de hidrogênio que interagem entre si por meio dos grupos hidroxilas presentes na molécula. Os amidos nativos, entretanto, podem apresentar modificações nas suas propriedades quando submetidos a tratamentos térmicos, radiações, enzimas ou por meio de agentes químicos específicos (LIU *et al.*, 2009). A modificação do amido com a presença de água e calor foi avaliada passo a passo para a formação do compósito. O processo exige cuidados especiais, principalmente na formação do material sólido.

A retirada de umidade da estrutura que foi modificada irreversivelmente pela decomposição das estruturas cristalinas do amido, é um processo delicado e foi acompanhado com o auxílio da metodologia PDCA.

A Figura 1 apresenta os ciclos aplicados no desenvolvimento do produto da metodologia PDCA. A representação estabelece a abrangência de cada ciclo de aplicação da metodologia na forma de cores distintas.

Figura 1: Representação dos cinco ciclos aplicados da metodologia PDCA para o desenvolvimento do produto



Fonte: Autoria Própria

Seguindo as etapas apresentadas, foi feita a aplicação da metodologia PDCA por cinco ciclos para a obtenção de compósitos biodegradáveis de fibra de coco e amido modificado.

#### 4.1. Primeiro PDCA

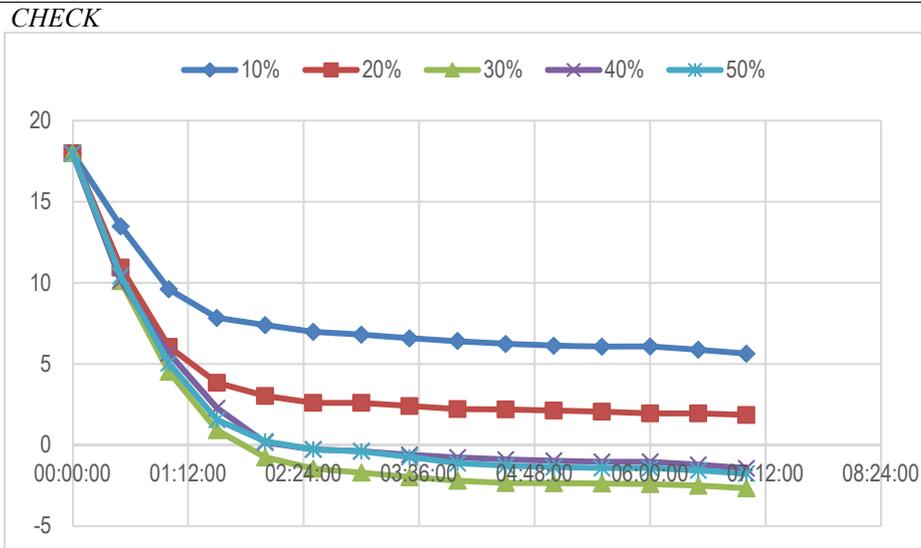
No primeiro ciclo em busca da qualidade absoluta, foi estabelecido a avaliação percentual da porcentagem de amido modificado. Observou-se baseado em ensaios preliminares que o compósito formado por amido modificado e fibra vegetal no tamanho de 35 mesh, apresentava trincas externas de tamanho significativo. As trincas são pontos frágeis no corpo do material que pode concentrar tensões quando o material é submetido a esforços físicos (MONTEIRO *et al.*, 2006). Para superar as condições desfavoráveis na formação do material, a metodologia da qualidade apresenta uma rota sequencial de operações, iniciando-se pelo planejamento. Para a tomada de decisão foi primeiramente discutido o problema, abordando a fonte onde se inicia a formação das trincas e

quais os fatores externos que podem influenciar nesta formação. Neste processo, foram determinadas três ordens de grandeza, classificando os possíveis motivos em: muito, razoável e pouco relevante.

A partir desta análise, a equipe resolveu investigar a avaliação da quantidade de polímero no compósito. Ficou estabelecido que os

compósitos seriam feitos com quantidades variando em intervalos de 10%, iniciando com 10% e indo até 50% em relação a fibra vegetal. Os compósitos foram avaliados por gravimetria a intervalos regulares de 30 minutos. Os resultados do processo de aquecimento dos compósitos podem ser vistos na Figura 2.

Figura 2: Análise gravimétrica dos compósitos fibra vegetal e amido modificado com variação de amido entre 10 e 50% em peso



Fonte: Autoria própria.

Os resultados ilustrados na Figura 2, revelaram uma proporcionalidade direta entre a porcentagem de amido modificado e a perda de umidade. Em um primeiro momento, a perda de massa é significativa com uma taxa de aproximadamente -13,5. Após o intervalo de 2 horas aproximadamente, a taxa diminui para -0,38 até o período de 7 horas.

Os corpos de prova com quantidades de amido modificado entre 10% e 30% não apresentaram trincas em quantidades significativas durante o processo de secagem. Os corpos de prova com quantidades entre 40% e 50% de amido modificado, revelaram trincas em menor quantidade e elas se iniciaram a partir das 2:30 minutos.

Figura 3: Compósito com 50% de amido modificado e submetido ao processo térmico por 7 horas

ACT



Fonte: Autoria própria

ACT

O compósito processado com 40% e 50% de amido modificado foi reavaliado em relação as falhas e trincas que apresentava. A Figura 3 apresenta o compósito com 50% de amido modificado, resultante do processo de conformação.

A reavaliação prevista na metodologia PDCA, inclui a fase chamada ação. Esta se caracteriza por ser a última fase do ciclo e a primeira na tomada de decisão para a melhoria do processo em questão. Nesta etapa da busca pela melhoria permanente e crescente, é oportuno a avaliação criteriosa dos resultados obtidos na etapa que antecedeu a decisão de formar o compósito.

A avaliação verificou que por conta dos compósitos com 40% e 50% de amido modificado apresentarem uma quantidade significativamente de trincas em relação aos demais compósitos, eles deveriam ser totalmente eliminados e refeitos, com objetivo de chegar a uma proporção de fibra de coco, amido modificado e água que não ocasionasse rupturas durante o processo de secagem. Esta decisão foi baseada no alcance da melhor performance em relação as propriedades físicas do compósito.

## 4.2. Segundo PDCA

Nesta etapa inicial dos passos da metodologia PDCA, foi realizada reunião com a equipe para que se tomasse uma decisão no sentido de buscar a correção das falhas explícitas decorrentes do processo térmico.

Ficou decidido que a temperatura era o fator mais relevante e responsável pelo número de defeitos obtidos no processo anterior.

Desta forma, foi avaliada a quantidade de calor aplicado na etapa de tratamento térmico, a partir da variação da temperatura durante o processo de secagem, reduzindo-a para em média 50°C após 1 hora de secagem a partir de 120°C iniciais.

Estabeleceu-se que seriam avaliados dois tipos de compósitos, isto é, com 40% e 50% de amido modificado.

Figura 4 – Compósito com 50% de amido modificado e submetido ao processo térmico por 7 horas

CHECK



Fonte: Autoria própria.

## CHECK

Os corpos de prova apresentaram algumas rachaduras na sua superfície durante a etapa de secagem. Além da morfologia irregular foi observado maior tempo no processo térmico de secagem. Isso revela que o processo ainda necessitava de ajustes para se obter um corpo de prova mais regular. A Figura 4 ilustra o corpo de prova obtido.

## ACT

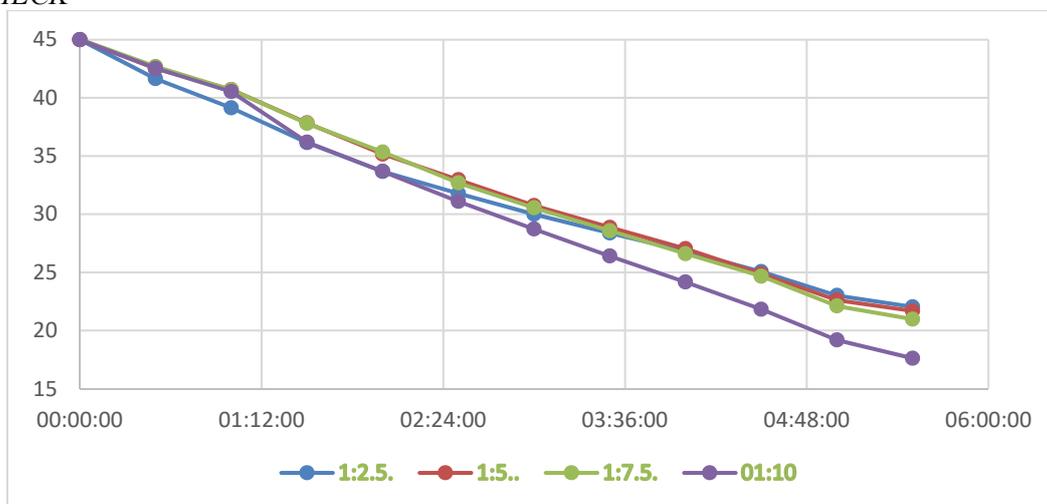
Após analisar e discutir os resultados obtidos ficou estabelecido que um dos motivos que influenciavam a formação de rachaduras nos corpos era o excesso de água presente nas amostras. Portanto, nesta etapa decidiu-se que o processo seria refeito para ser avaliada a influência da água na formação do compósito. Manteve-se as amostras com 50% de amido modificado, porém, avaliando diferentes níveis de concentração de água durante o processamento térmico, isto é, a etapa de secagem.

## 4.3. Terceiro PDCA

Os compósitos processados com 50% de amido modificado foram avaliados por gravimetria em relação a presença de umidade no compósito. A Figura 5 apresenta o compósito com 50% de amido modificado com diferentes quantidades de água. Durante o processo térmico de retirada de água, a diminuição do peso do compósito ocorreu de forma linear para todos os compósitos ensaiados.

Figura 5 – Análise gravimétrica dos compósitos fibra vegetal e amido modificado com 50% de amido em peso e variando a quantidade de água

CHECK



Fonte: Autoria própria.

Para o compósito apresentando a relação de 1:10, (amido/água), a perda de peso se mostrou maior a partir de 2:30 minutos aproximadamente. Isso revela que a perda de água, quando o corpo de prova é submetido à aplicação de calor, é maior em relação aos demais compósitos. Possivelmente, o excesso de água no material, permite quando aquecido, a sua retirada com mais facilidade, devido principalmente a apresentar uma condição mais livre de interação com os componentes do novo material.

A Figura 5 apresenta a análise gravimétrica dos compósitos fibra vegetal e amido modificado com 50% de amido em peso e variando a quantidade de água. Os corpos de prova com a relação 1:2,5 e 1:7,5 apresentaram a maior quantidade de rachaduras na sua superfície, indicando condições menos favoráveis para a confecção dos compósitos.

A melhor condição para os parâmetros aplicados neste trabalho, mostrou ser a relação 1:5, isto é, para cada parte em peso de amido são acrescentadas cinco partes em peso de água.

## ACT

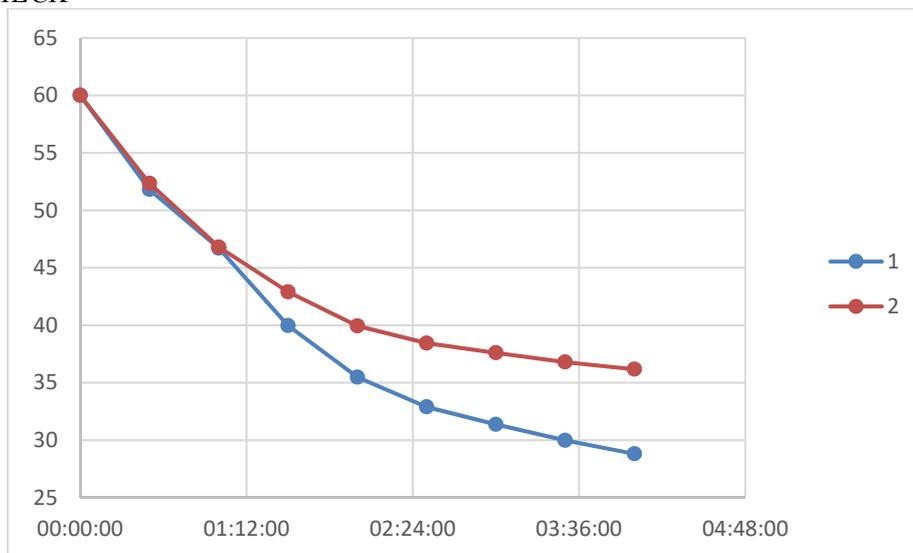
Baseado nas observações experimentais e resultados obtidos, foi determinado a condição de 1:5 amido/água e uma condição auxiliar para a confecção do material compósito. Ficou decidido que seria aplicado uma força de pressão auxiliada com um molde, conformando com mais compactação os constituintes do compósito.

## 4.4. Quarto PDCA

Foi necessário avaliar as condições do processamento térmico com o auxílio de um molde feito em madeira, que auxiliaria a conformação do compósito na etapa inicial de confecção, possibilitando melhores condições estruturais de aglomeração. A execução do experimento contou com moldes de madeira, sendo que um dos corpos de prova permaneceu dentro do molde durante todo o processo térmico, enquanto que o outro foi retirado totalmente do molde. O molde de madeira tem limitações laterais e é aberto na base e no topo.

Figura 6 – Análise gravimétrica dos compósitos fibra vegetal e amido modificado com 50% de amido em peso moldados com pressão e submetidos ao processo térmico com (2) e sem (1) molde

### CHECK



Fonte: Autoria própria.

Ambos os corpos de prova permaneceram nas mesmas condições de temperatura, pelo período total de 2 horas. Os resultados do experimento foram plotados na Figura 6, com avaliação gravimétrica. A curva 1 representa o corpo de prova que foi retirado do molde com, aproximadamente, 1 hora de aquecimento, enquanto a curva 2 representa o corpo que foi mantido no molde até o final do processo de secagem.

O gráfico da Figura 6 revela que os

compósitos submetidos ao tratamento térmico com e sem molde perderam a mesma quantidade de água durante a primeira hora de processo.

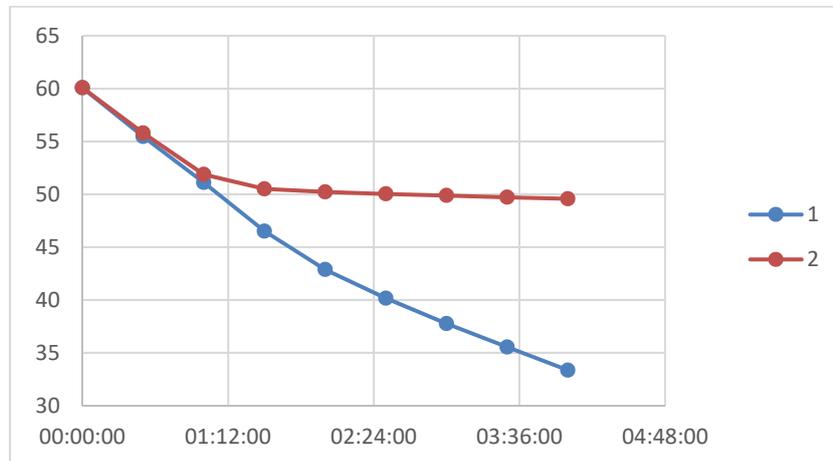
Isso indica que a perda de água por aquecimento não é influenciada pela presença do molde nesta etapa. Entretanto, após esta etapa, a perda de água é mais significativa para o compósito que foi retirado da matriz.

O resultado revela que a presença da matriz fechada nas laterais, limita a velocidade de evaporação ou a taxa de retirada de água.

Avaliando o comportamento do compósito durante o tratamento térmico, foi realizado o ensaio de permanência total e parcial do corpo de prova submetido a temperatura. Ambos os compósito permaneceram dentro do molde. A

curva 1 representa o corpo que foi mantido ao tratamento térmico até a retirada total da umidade e a curva 2 representa o corpo aquecido por aproximadamente, 1 hora. O resultado gravimétrico é apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Análise gravimétrica dos compósitos de fibra vegetal e amido modificado com 50% de amido em peso moldados com pressão e submetidos ao processo térmico com molde



Fonte: Autoria própria.

Verificou-se que após cerca de 1 hora de processo térmico a taxa de evaporação de água foi aproximadamente a mesma para ambos os compósitos. Nesse mesmo período, o corpo de prova foi retirado do aquecimento e deixado em repouso sob temperatura ambiente.

A perda de umidade foi mínima ou aproximadamente nula, indicando que a retirada de umidade não ocorre significativamente nestas condições. O corpo de prova que permaneceu sob aquecimento, apresentou uma taxa de perda de peso linear. A Figura 8 ilustra o corpo de obtido a partir do referido processo.

Figura 8 – Compósito com 50% de amido modificado e submetido ao processo térmico por 04:00 horas



Fonte: Autoria própria.

Os resultados revelaram que o compósito que permaneceu sob aquecimento não apresentou rachaduras ou defeitos de superfície nas partes que ficaram em contato com o molde.

Na parte inferior, entretanto, o corpo de prova mostrou deformações significativas.

ACT

Foi estabelecido que para a formação do corpo de prova isento de rachaduras e irregularidades é importante que o compósito confeccionado com amido modificado e fibra vegetal receba o aquecimento de forma controlada.

A deformação na parte inferior do corpo de prova revela que o excesso de energia térmica eleva a taxa de evaporação da água ao mesmo tempo em que ocorre o processo de modificação da cristalinidade pela gelatinização do amido. Desta forma, o trabalho foi conduzido para que o processo apresentasse uma taxa constante e uniforme de calor para todo o corpo de prova.

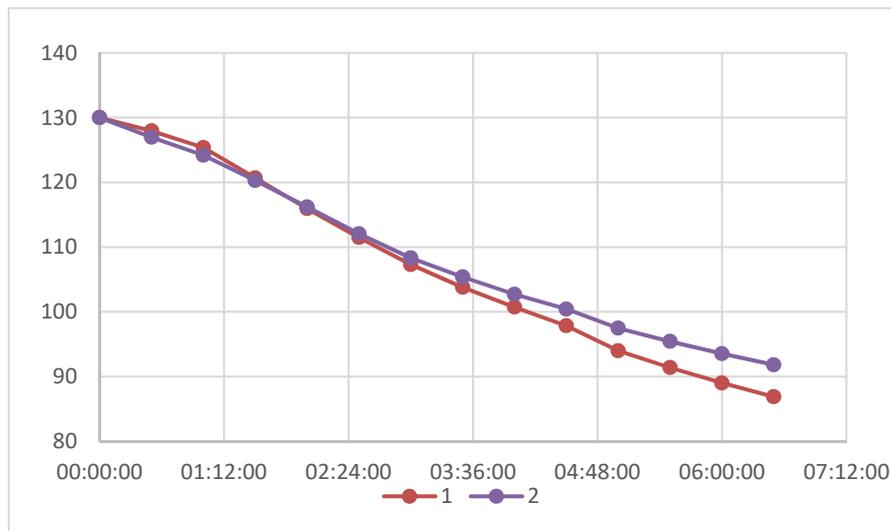
#### 4.5. Quinto PDCA

Nesta etapa de construção de compósitos de amido modificado e fibra vegetal, a fonte de aquecimento foi modificada. Os corpos de prova foram elevados e distanciados da parte mais aquecida da fonte de calor.

Foi igualmente modificado o processo de conformação por molde para a conformação dos corpos de prova. Utilizaram-se moldes metálicos de alumínio, permitindo que a umidade do compósito não fosse transferida para os moldes. O resultado gravimétrico é mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Análise gravimétrica dos compósitos de fibra vegetal e amido modificado com 50% de amido em peso moldados com pressão e submetidos ao processo térmico com moldes de metal

CHECK



Fonte: Autoria própria.

O gráfico da Figura 9 demonstra a similaridade da taxa de evaporação dos corpos de prova por toda a etapa de secagem. Também é importante ressaltar que as amostras não apresentaram rachaduras significativas durante todo o aquecimento, e que a retirada dos corpos de prova do molde após o momento de secagem possibilitou que os mesmos secassem de forma mais homogênea, provocando assim, uma característica de linearidade no processo de secagem. O corpo de prova obtido neste processo é apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Compósito com 50% de amido modificado e submetido ao processo térmico por 06:00 horas



Fonte: Autoria própria.

## 5. Considerações Finais

Os ajustes de umidade, amido, temperatura e pressão, permitiram construir compósitos com amido modificado e fibra de coco. Os compósitos obtidos após os ajustes eram compactos e isentos de irregularidades.

A metodologia da qualidade denominada PDCA permitiu o desenvolvimento do compósito de forma linear, direcionando a tomada de decisão com foco em cada problema que surgia

na manufatura do novo material. A metodologia PDCA também impediu a ramificação dos ensaios que poderiam eventualmente serem avaliados, otimizando os ganhos do objetivo da pesquisa. Isso permitiu estruturar o desenvolvimento de manufatura do compósito na etapa inicial do trabalho com economia de tempo e objetividade na busca das soluções. O trabalho necessitou de cinco ciclos da metodologia para alcançar o objetivo proposto. No caso, uma formação do compósito estabelecida com uma quantidade igual a 2 partes de fibra de coco, 1 parte de amido e 5 partes de água, sob temperatura igual a 90 °C pelo tempo mínimo de 6 horas.

Enfim, a realização deste estudo trouxe uma importante contribuição, por meio do desenvolvimento do compósito sustentável, que pode ser aplicado para diferentes funções, como embalagens de proteção, vaso para plantas, tubetes, entre outros. Além disso, apresentou um caminho para o desenvolvimento de materiais integrando a utilização do ciclo de melhoria contínua, PDCA, que pode ser replicado para a concepção de outros materiais ecologicamente corretos.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a inserção de materiais com característica plastificante, para desenvolvimento de um novo compósito com propriedades específicas.

## 6. Reconhecimentos

Os autores agradecem à Universidade Estadual de Santa Cruz e ao LAPOS, laboratório de Polímeros e Sistemas pelo apoio na realização deste trabalho.

## Referências

- ALVES, J. E. D. Sustentabilidade, Aquecimento Global e o Decrescimento Demo-econômico. **Revista Espinhaço** | *UFVJM*, 4-16, 2017.
- AMARAL, G. E. D., SANTOS, C. A., SILVA, L. L., GODOI, T. P., & VELOSO, T. S. APLICAÇÃO DO CICLO PDCA EM UMA EMPRESA DE FLEXOGRAFIA. **Revista Acadêmica FEOL**, 1(1), 16-34, 2017.
- AZEVEDO, L. C., DE SÁ, A. S. C., FUNGARO, D. A. Propriedades do amido e suas aplicações em biopolímeros. **Cadernos de Prospecção**, 11, 351, 2018.
- CAPORAL, F. R. Poderá a Agroecologia responder aos cinco axiomas da sustentabilidade. **Revista Brasileira de Agroecologia**, 11(4), 2016,
- CARVALHO, MM de; PALADINI, E. P. **Quality Management: theory and cases**. Rio de Janeiro, Brazil: Editora Campus, 2012.
- CEREDA, M. P. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas. São Paulo: **Fundação Cargil**, 2002, v. 2.
- DALCHIAVON, E. C., BAÇO, F. M. B., MELLO, G. R. Barômetro de sustentabilidade estadual: uma aplicação na Região Sul do Brasil. **Revista Gestão e Desenvolvimento**, 14(1), 54-69, 2017.
- DEMING, W.E. **My View of Quality Control in Japan**. Report of Statistical Application Research. Tokyo: Union of Japanese Scientists and Engineers (JUSE), 1975. v. 22, n. 2, p. 25-32, 1975.
- DENARDIN, C. C.; SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1-10, 2009.
- DIAS, C. P. Sustentabilidade na produção animal. **Revista de Ciência Veterinária e Saúde Pública**, 3, 333-336, 2016.
- FARIAS, S. S., SIQUEIRA, S. M. C., CRISTINO, J. H. S., ROCHA, J. M. Biopolímeros: uma alternativa para promoção do desenvolvimento sustentável. **Revista Geonorte**, 7(26), 61-77, 2016.
- FEIGENBAUM, A. V. **Total quality control**. New York: MC Graw-Hill. 386p. p. 224. 1986.
- FONTANA, R. L. M.; COSTA, S. S.; SILVA, J. A. B.; RODRIGUES, A. D. J. Teorias demográficas e o crescimento populacional no mundo. **Ciências Humanas e Sociais Unit**, v. 2, n. 3, p. 113-124, 2015.
- FONTELLES, M. J., SIMÕES, M. G., FARIAS, S. H., FONTELLES, R. G. S. Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. **Revista Paraense de Medicina**, v. 23, n. 3, p. 1-8, 2009.
- FORNARI JUNIOR, C, C. M. Aplicação da Ferramenta da Qualidade (Diagrama de Ishikawa) e do PDCA no Desenvolvimento de Pesquisa para a reutilização dos Resíduos Sólidos de Coco Verde. **INGEPRO-Inovação, Gestão e Produção**, 2010, 2.9: 104-112.
- GARVIN, David A. **Gerenciando a Qualidade – A Visão Estratégica e Competitiva**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992
- GOMES FILHO, V., GASPAROTTO, A. M. S. (2019). A importância do ciclo PDCA aplicado à produtividade da indústria no Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, 16(2), 383-392. 2019.
- GOUVEIA, I.M.L.; BRASIL, A.S.; ALCALDE, E.A. Ferramentas de gestão para solução de problemas. **Revista Conexão Eletrônica**, v.14, p. 1144-1145, 2017.
- GOZZI, M. P. **Gestão da qualidade em bens e serviços**. São Paulo: Person. 2015.
- ISHIDA, J. P.; OLIVEIRA, D. A. Um estudo sobre a Gestão da Qualidade: conceitos, ferramentas, custos e implantação. **ETIC-ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA-ISSN 21-76-8498**, 15.15, 2019.
- ISO, NBR. 9000: 2000–**Sistemas de gestão da qualidade**–Fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro: ABNT, 26p, 2000.
- JURAN, J. M. **Juran planejando para a qualidade**. São Paulo: Pioneira. 394p. p. 143, p. 300. 1990.
- CROSBY. P. B. **Qualidade falada a sério**. São Paulo: Mc Graw-Hill. 201 p. p. 62. 1990.
- LIU, H; XIE, F.; YU, L.; CHEN, L.; LI, L. Thermal processing of starch-based polymers. **Progress in Polymer Science**, v. 34, p. 1348-1368, 2009.
- MIRANDA, G. M. D., MENDES, A. D. C. G.; SILVA, A. L. A. O envelhecimento populacional brasileiro: desafios e consequências sociais atuais e futuras. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**, 19(3), 507-519, 2016
- MONTEIRO, S. N., TERRONES, L. A. H., CARVALHO, E. D., D’ALMEIDA, J. R. M. Efeito da interface fibra/matriz sobre a resistência de compósitos poliméricos reforçados com fibras de coco. **Revista Matéria**, 11(4), 395-402, 2006.
- MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 7º ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- OLIVEIRA, C. I. R. D., ALMEIDA, V. P. D., ROCHA, M. C. G.; ASSIS, J. T. D. Avaliação do efeito do agente compatibilizante (PP-g-MA) em misturas PP/Amido termoplástico. **Revista Matéria (Rio de Janeiro)**, 24(3), 2019.
- PAULA, L. I. C., BENEVIDES, N. M. C., MONTE, W. S., MENEZES, E. R., ARAÚJO, M. A. QUALIDADE NO ATENDIMENTO: PADRONIZAÇÃO COM BASE NO MODELO PDCA. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, 13(2), 41-49.2019.
- RAPÔSO, C. F. L., SILVA, P. A. F., LIMA, H. M., OLIVEIRA JUNIOR, W. F., SOUZA BARROS, E.

GESTÃO DA QUALIDADE E DA PRODUÇÃO: Análise comparativa entre o PDCA e o DMAIC. **RACE-Revista da Administração**, 4, 147-153, 2019.

REIS, M. M., SANTOS, Z. I., UEKI, M. M., BRITO, G. F. Avaliação do Tipo de Plastificante nas Propriedades de Blendas de Polietileno/Amido Termoplástico. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, 11(3), 2016.

SANTOS, C. K. M.; DA SILVA, H. G. B.; RODRIGUES, L. F.; DA SILVA, T. M.; CARNEIRO, M. B.; DE OLIVEIRA COSTA, F. H.; TABAH, J. Aplicação de Ferramentas da Gestão da Qualidade no Setor de Corte de uma Indústria de Calçados. **Revista das Engenharias**, v. 2, n. 1, 2019.

SANTOS, E. P., SARON, C. Amido e seus compósitos: alternativas promissoras como novos materiais. **Cadernos UniFOA**, 7(1 (Esp.)), 45-51, 2017.

SANTOS, L. F. G., FORMIGA, L. A.S, SILVA, J. Desenvolvimento de compósitos de amido termoplástico reforçados com fibras de curauá natural

da amazôniaeco-compósitos de amido com fibras de curauá. **Revista Iberoamericana de Polímeros**, 17(4), 230-239, 2016.

SILVA, C. O., AGOSTINO, I., SOUSA, S., COUTO, P., & DAHER, R. A utilização do método PDCA para melhoria dos processos: um estudo de caso no carregamento de navios. **Revista Espacios**, 38, 2017.

SILVA, G., MAZZIONI, S., FERNANDES, F. C. Gestão de riscos e sustentabilidade na indústria de transformação. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, 6(1), 157-171, 2015.

STOFFEL, J. A., COLOGNESE, S. A. O desenvolvimento sustentável sob a ótica da sustentabilidade multidimensional. **Revista da FAE**, 18(2), 18-37, 2015.

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Editora de desenvolvimento gerencial. p. 384-384, 1995.